Е. Сапарина
НЕБЕСНЫЙ
ЗЕМЛЕМЕР

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Какова форма планеты, на которой мы живем? Простой вопрос? Со времен философа древности Аристотеля и до наших дней тысячи ученых пытались ответить на него. Для этого Землю меряли линейкой, объезжали с точнейшими часами в руках, «взвешивали», создавали математические ее модели. Форма нашей планеты оказалась связанной с тяготением, магнетизмом, строением земных недр и движением Луны. Но точно сказать, что же именно она представляет собой, ученые не могут до сих пор. А в ответе на этот вопрос заинтересованы не только сами «землемеры». Точную форму Земли необходимо знать строителям и геологам, мореплавателям и картографам, астрономам и водителям будущих космических кораблей. Сейчас в эти исследования включилась новая наука, родившаяся с запуском первых искусственных спутников Земли и космических ракет, — спутникия. Она дает верный ключ к решению одной из важнейших и труднейших задач, интересующих человека с первых дней его существования. Обо всем этом и рассказывает книга Е. Сапариной «Небесный землемер».

- Елена Викторовна Сапарина
  - ◯
  - ◯ Вопреки показаниям глобуса
  - ◯ I
  - ◯ II
  - ◯ III
  - ◯ IV
  - ◯

Елена Викторовна Сапарина

Небесный землемер

Вопреки показаниям глобуса

Если так вот просто сказать, что наша Земля вовсе не шар и, стало быть, ее название не соответствует истине, посыплются недоуменные вопросы.

И действительно.

На первом уроке географии каждый из нас с волнением первооткрывателя рассматривает шар глобуса — крохотную модель Земли. И первое, что мы узнаем о планете, на которой живем, — она круглая.

Тысячелетия потратили люди, чтобы доказать это.

Века незыблемо просуществовало представление о плоской, как блин, Земле. Гениальная догадка Аристотеля, впервые обратившего внимание, что земная тень, наползающая во время затмений на светлый диск Луны, круглая, была настоящим переворотом в умах. А через несколько столетий итальянца Асколи, осмелившегося повторить, что Земля — шар, инквизиторы сожгли на костре как еретика.

Десять последующих столетий церковь запрещала говорить о круглой Земле. И лишь в XVI веке перед лицом неопровержимых фактов, добытых первыми путешественниками, объехавшими вокруг земного шара, рухнули схоластические представления церковников о прямоугольной Земле.

Землю признали шаром. И школьники всех стран стали изучать свою планету по круглому глобусу.

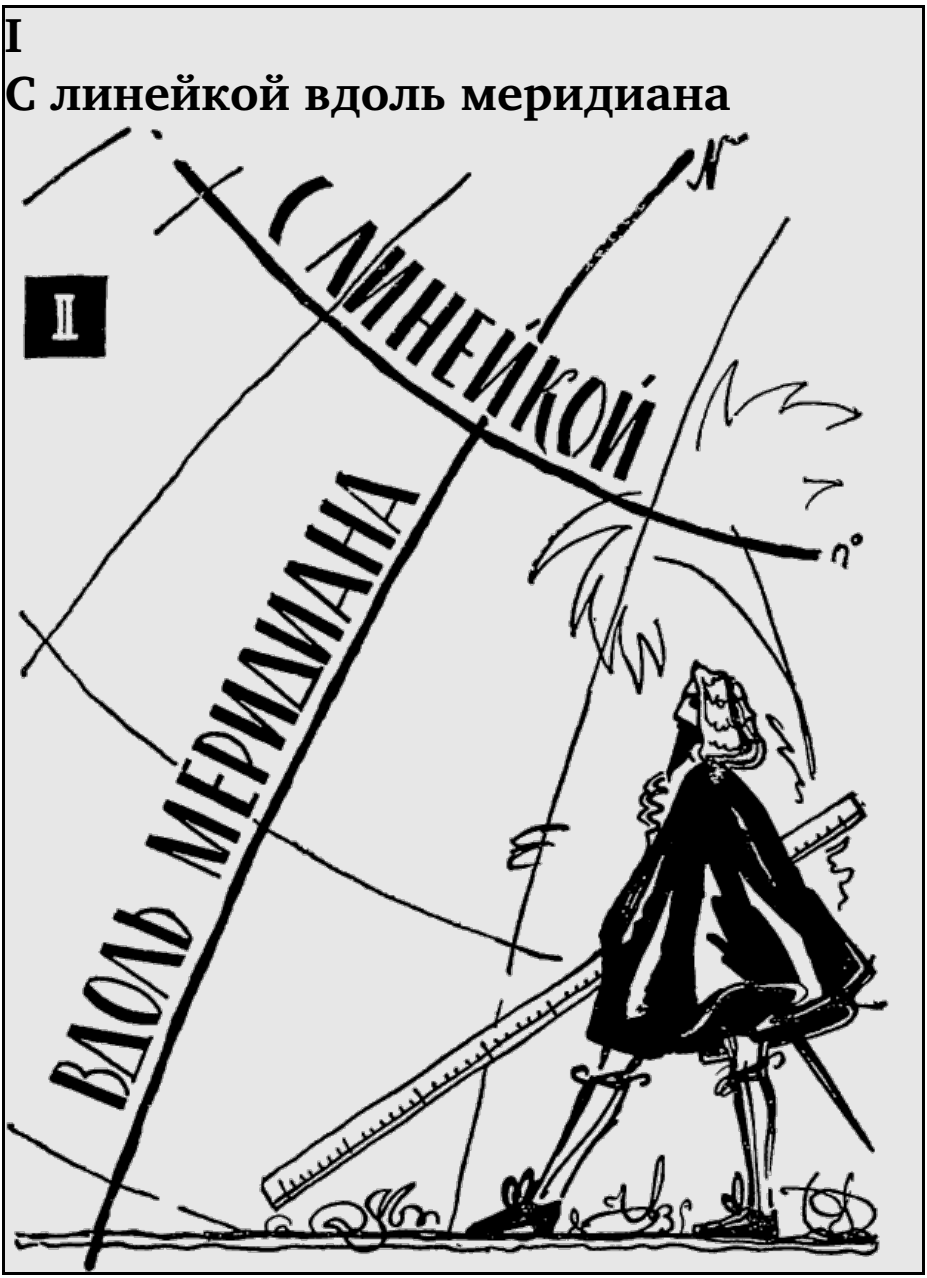
А между тем глобус нельзя считать правильной моделью земного шара. Не для всех, конечно, этот факт явится неожиданностью. О том, что Земля — не шар, ученым известно. А вот какова ее точная форма, они не могут сказать, хотя над решением этой задачи многие столетия бьется наука. Сейчас на помощь призвали даже искусственный спутник.

Созданная человеком маленькая луна и форма, которой обладает наша планета, исследования космоса и такая нехитрая, казалось бы, совсем земная профессия землемера — что между ними общего?

Неужели такая сложная проблема — измерить земной шар, что ее до сих пор не смогла решить наука, демонстрирующая каждый день свои поистине удивительные возможности? Разве определить поперечник Земли труднее, скажем, чем расстояние до находящихся в глубинах мирового пространства галактик? И почему Землю легче измерить с находящегося от нее за тысячу с лишним километров искусственного спутника, а не просто протянув рулетку по ее поверхности от города к городу, от материка к материку?

Не будем спешить с ответами. Сделаем первый шаг в науку с той ступеньки, где мы оставили круглый школьный глобус. Попробуем ответить на самый простой вопрос, с которого началась современная геодезия: как догадались, что Земля не круглая?

I
С линейкой вдоль меридиана



Часы, которые сплющили Землю

Обвинение, предъявленное астроному Рише, было не совсем справедливо. В конце концов он только рассказал о том,

свидетелем чего явился во время своей поездки в Южную Америку. Но те, кто его обвинял, составляли большинство. И это были старейшие члены Парижской Академии наук. А с этим нельзя было не считаться.

Впрочем, их негодование отчасти можно даже понять. Кто бы мог подумать, что исполнительный, всегда послушный их авторитетному мнению молодой ученый, которого послали на экватор наблюдать за нашим соседом по небу — Марсом, вернется с крамольными идеями, касающимися самой Земли. Теми самыми идеями, которые затем позволят известному «ниспровергателю основ» Ньютону утверждать, что земной шар вовсе не шар, а скорее гигантский «мандарин».

И хотя сам Рише вовсе не утверждал этого, все же именно он, вернувшись в 1673 году с острова Кайенны, первый сделал сенсационное сообщение о часах. Он заявил, что точнейшие часы, тщательно выверенные перед его отъездом в Париже, на экваторе вдруг начали катастрофически отставать. Ему пришлось даже укоротить маятник на 1,25 парижской линии (2,8 миллиметра), чтобы тот правильно отбивал секунды. Так продолжалось все два года, которые Рише провел на острове. А вернувшись в Париж, он обнаружил, что исправленные часы стали уходить вперед, и он снова вынужден был удлинить стержень маятника до прежних размеров.

С маятником явно происходило что-то неладное. Академики, выслушав Рише, вначале пришли к единодушному выводу, что в Кайенне часы отставали… из-за жары. Ведь этот тропический остров недаром сделали местом ссылки каторжников: находиться в таком пекле было поистине жестоким наказанием. От жары, считали ученые, металлический стержень, наверное, вытянулся, и потому маятник и стал качаться медленнее. Вот часы и отстали.

Тратить время на дальнейшую разгадку неравномерного хода пусть даже самых точных часов солидные ученые не считали нужным. Если это и могло заинтересовать кого-либо всерьез, так разве самого изобретателя часов с секундным маятником — голландского физика Гюйгенса.

Христиан Гюйгенс как раз в год возвращения Рише опубликовал научный труд, в котором доказывал, что длина секундного маятника — величина неизменная и постоянная всюду на Земле. Он высчитал, что длина нити, на которой висит маятник, совершающий одно качание в секунду, составляет 440,5 парижской линии. Гюйгенс был уверен, что такой маятник станет отбивать секунды, где бы мы ни пробовали его раскачивать, и поэтому предложил взять его длину за единицу линейных измерений.

И вдруг оказывается, что тот самый маятник, который в Париже заканчивал свое колебание ровно за одну секунду, на экваторе ни с того ни с сего стал качаться медленнее. Неужели он и впрямь сделался там длиннее? Нет, это маловероятно. Скорей всего за этим скрывалось что-то другое. Но что же?

Маятник раскачивается под действием собственного веса. Может быть, он, оказавшись на экваторе, неожиданно полегчал? Как ни казалось это поначалу невероятным, Гюйгенсу пришлось допустить, что вес маятника изменился при переезде в более южные широты. Но почему это могло произойти?

После долгих раздумий он решил, что виной всему центробежная сила, возникающая при вращении нашей планеты вокруг самой себя. Это она, действуя навстречу силе тяжести, делает маятник на экваторе не таким тяжелым, как в Париже, в результате чего он и качается здесь медленнее. Ведь как раз на экваторе эта встречная сила гораздо больше, чем на широте Парижа. После такого вывода Гюйгенс уже не предлагал делать секундный маятник эталоном длины.

С тем, что вес одного и того же маятника меняется только от перевозки на новое место, французские академики никак не могли согласиться. И они, разумеется, заявили об этом в достаточно категорической форме. Тогда-то в спор и вступил «вульмсторпский фермер», как высокомерно они называли Ньютона.

Началось с того, что этот преподаватель Лондонского университета со «свойственной ему бестактностью» прямо заявил, что жара тут ни при чем. Он не поленился произвести специальный «опыт». Раздобыв железный шест такой же длины, как секундный маятник, он измерил его зимой и летом. И во всеуслышание объявил, что летом шест действительно удлиняется… на $^1/_6$ линии. И, значит, для того чтобы он вытянулся на 1,25 линии, температура в Кайенне должна быть по крайней мере на 200° выше, чем в Париже.

Затем он высчитал, что если бы вес маятника на экваторе уменьшала только центробежная сила, то его пришлось бы укоротить всего на 0,4 линии, а не на 1,25, как это делал Рише. Значит, есть еще какая-то причина, делающая маятник здесь более легким.

Когда Ньютон назвал ее, в ученом мире поднялся страшный шум. На голову Ньютона и Рише, заварившего эту кашу с часами, посыпались отчаянные обвинения. Рише, известный в науке лишь в связи со злополучным отставанием часов, был отстранен от научных работ и изгнан из академии. Но с Ньютоном, труды которого уже в то время снискали ему славу выдающегося

ученого, справиться было не просто. И борьба разгорелась не на жизнь, а на смерть.

Почему же почтенные академики так возмутились?

Последнее время им приходилось нелегко. Что ни год, то какой-нибудь «выскочка» из молодых придумывал новые хитроумные объяснения старых и, казалось, прочных, как мир, явлений в природе. Почему, например, движутся планеты и Луна и какой вид имеет их путь? Академики никогда особенно и не задумывались над этим. Все было, казалось, незыблемо установлено еще в годы их молодости. Планеты путешествуют по небесам, обходя круг за кругом. Чего же еще?

А один из таких молодых (имя его никому и не было раньше известно) напечатал книгу, которую назвал «Космографическая тайна». В течение нескольких лет, не получая нигде жалованья, терпя нужду и лишения, Кеплер упорно, как он говорил, «боролся с Марсом», вычисляя «расписание его движения». Он проверил свое вычисление 70 раз и исписал свыше 1000 страниц, потратив на это пять лет жизни. И когда кончил, то заявил, что Марс, Луна да и другие планеты не блуждают по небу сами собой, а движутся под действием каких-то неизвестных сил. И вовсе не по кругу, а по овалу.

Пока Иоганн Кеплер разгадывал законы движения планет, в Италии почтенный человек, профессор астрономии и механики Падуанского университета, по слухам, вздумал заниматься совсем уж не солидным делом. Забираясь на самый верх высокой городской башни, он бросал вниз камни. И хотя всем было ясно, что тяжелый булыжник упадет быстрее легкого камешка, профессор Галилей уверял, что они должны падать с одинаковой скоростью, так как движутся под действием одной и той же силы тяжести. И только воздух, оказывая более сильное сопротивление тому камню, который имеет большее поперечное сечение, дольше задерживает его в полете.

Результаты своих «сомнительных» опытов он не постеснялся описать в толстой книге. Героями ее были трое ученых — Сальвиати, Сагредо и Симпличио, споривших о том, как упадет тяжелый и легкий камень. И если первых двух во Франции хорошо знали (это были друзья Галилея), то что хотел сказать автор, назвав своего третьего, вымышленного героя «простаком»? Не был ли это намек на кого-нибудь из заслуженных членов академии? Ведь взгляды Симпличио как раз и совпадали с мнением французских академиков.

Не успели в Парижской Академии наук прийти в себя от потрясений, как последовало еще одно: на этот раз сам Исаак Ньютон издал новую книгу. И все о том же: как и почему

движется по небу Луна и как и почему падает на Земле камень? Он додумался до того, что причина, заставляющая камень падать на Землю, а Луну двигаться вокруг нее, — одна и та же. Это тяжесть, которая, по его словам, будто бы «разливается из центра Земли в окружающее пространство, подобно свету, и простирается даже до Луны».

Получалось, что Луна, подобно камню, все время падает вниз. Земная тяжесть тащит ее к Земле, а по инерции она стремится пролететь мимо нашей планеты. В результате Луна и движется по среднему пути, то есть вокруг земного шара.

— В самом деле, — говорил Ньютон, — если мы галилеев камень бросим так далеко и с такой силой, что он не упадет на Землю, а станет обращаться вокруг нее, то он превратится в кеплерову Луну. А раз Луна — «камень», — продолжал он размышлять, — то скорость ее движения, как и любого предмета, обладающего тяжестью, должна зависеть от ее расстояния до центра Земли.

Допустим, время оборота Луны вокруг Земли, вычисленное теоретически в предположении, что она — «камень», и наблюдаемое в действительности, совпадут. Это будет означать, что движение камня, удерживаемого у земной поверхности галилеевой силой тяжести, и перемещение Луны под действием таинственной кеплеровой силы, в действительности происходят под влиянием одной и той же причины — всемирного тяготения.

Так было произнесено это слово, вызвавшее впоследствии столько ожесточенных нападок. Всемирное тяготение…

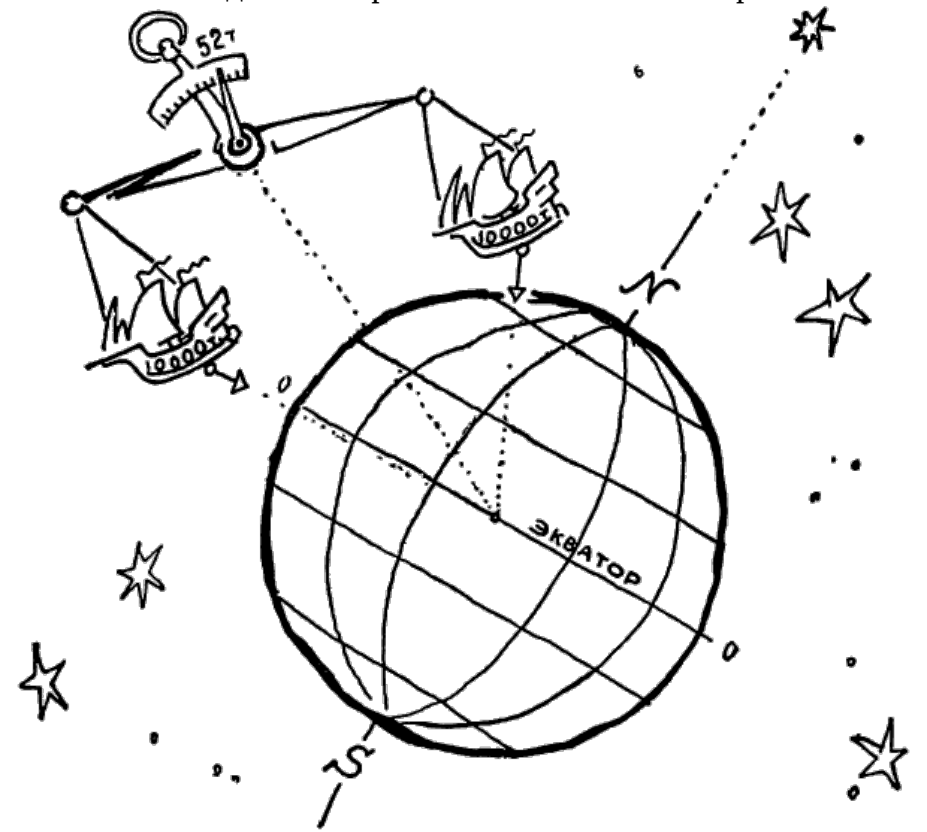
Тяготение существует между любыми двумя частичками, утверждал Ньютон. Земля притягивает камень, а камень — Землю. Луна тоже притягивает нашу планету и сама подвержена действию земного тяготения. Оно действительно всемирно. И Ньютон спешит многие непонятные раньше явления объяснить своим всемирным тяготением, в том числе и знаменитое отставание часов на экваторе.

Часы отстают потому, что наша Земля — не шар. Она сплюснута у полюсов и растянута вдоль экватора, заявил Ньютон.

Если бы Земля была жидкой и не вращалась, она действительно представляла бы собой шар: эту форму она приняла бы под действием тяготения каждой ее частички к центру. От вращения же образовалась мощная центробежная сила. Она, как правильно понял Гюйгенс, непрерывно увеличивается от полюса к экватору, ослабляя тем самым силу тяжести.

Та же центробежная сила растянула Землю в поперечном направлении. И теперь на экваторе Земля «толще», а на полюсах

«тоньше». Любой предмет, который мы поместим на поверхности Земли у экватора, будет дальше отстоять от ее центра, чем тот, что находится на полюсе. Сила тяжести действует здесь как бы издалека и потому еще чуточку ослабевает. Поэтому вес одних и тех же тел и неодинаков в разных местах земного шара.



Меньше всего они весят на экваторе. Здесь они становятся легче на $^1/_{190}$ по сравнению с их весом на полюсе. Из-за действия центробежной силы вес тел, находящихся на экваторе, убывает всего на $^1/_{289}$. А остальное они теряют из-за сплюснутости Земли. Вот этого-то и не учел Гюйгенс в своих в общем правильных рассуждениях о часах Рише.

Ньютон попытался даже вычислить, насколько наша планета сжата. Выходило, что экваториальный радиус на $^1/_{230}$ длиннее полярного. Таким образом, из расчетов Ньютона получалось, что если корабль весом в 10 тысяч тонн выйдет в плавание из северного порта, то на экваторе из-за центробежной силы он потеряет в весе примерно 34 тонны, а из-за сплюснутости Земли станет легче еще тонн на 18.

Заявление Ньютона вызвало бурю протеста. Большинство ученых не хотело признавать сплющенную Землю и выступило против открытия Ньютона, которое он сделал, как они говорили,

«не выходя из кабинета». Они подвергали сомнению каждую цифру, каждое слово в книге Ньютона, особенно то место, где доказывалось единство галилеева камня и кеплеровой Луны.

Тут-то и случилось самое страшное для Ньютона. Когда он, готовясь отбить очередные нападки, попробовал, основываясь на своем законе, рассчитать скорость вращения Луны вокруг Земли, она не совпала с действительной ее скоростью.

Он еще раз просмотрел абсолютно все величины, которые участвовали в расчетах. Ни одна не вызывала подозрений. Вот, может быть, только эта — радиус Земли: один из тех кусков, из которых складывалось расстояние до камня-Луны. Величину радиуса разные ученые называли разную из-за приближенных, неточных измерений. Вся надежда была на то, что кому-нибудь удастся, наконец, определить радиус Земли более точно. Как раз в это время принялся совершенно заново вычислять размеры Земли французский астроном Жан Пикар.

Когда результаты измерений Пикара были оглашены на заседании Королевского общества, Ньютон, не дождавшись конца заседания, поспешил домой и снова засел за расчеты. Обычно спокойный, даже невозмутимый, он на этот раз так волновался, что никак не мог закончить вычисление.

Наконец расчет произведен. Обе цифры совпали. Итак, тяготение было действительно всемирным. И Земля действительно не была круглой!

Так какая же она?

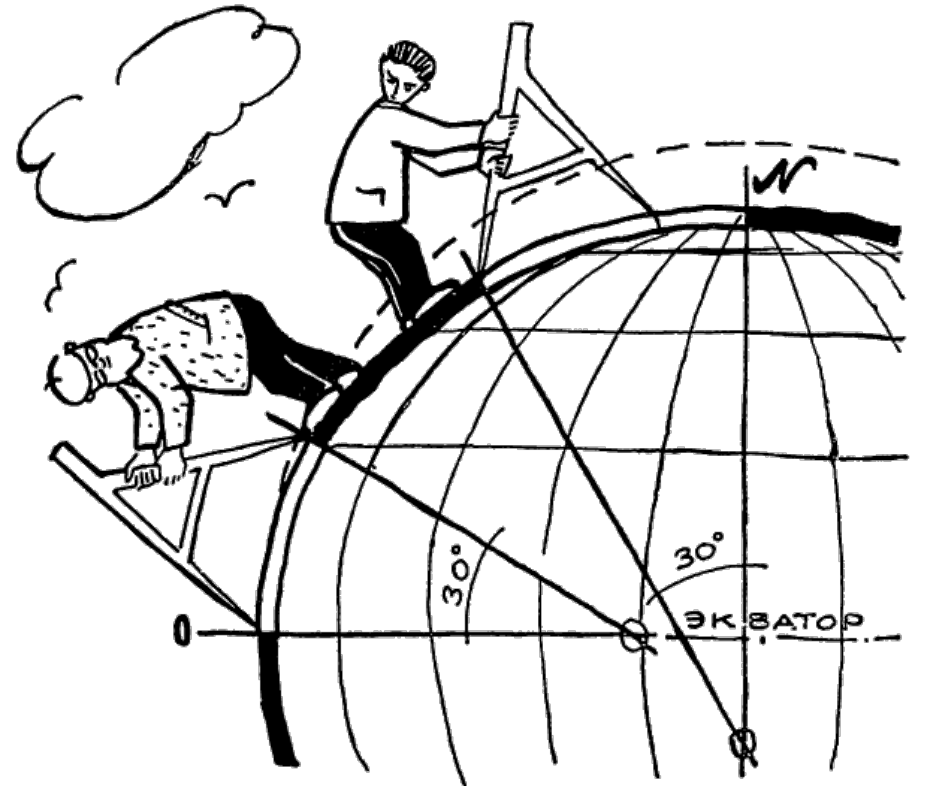
«Облатум сиве облонгум?»

Этот коварный вопрос вот уже несколько десятилетий мучил ученых многих стран. Сжатая или вытянутая, или, как тогда говорили, «облатум сиве облонгум?». Какова в действительности наша планета? Тому, кто мог бы правильно ответить на этот вопрос, была обещана не одна премия.

Ученый мир разделился на два лагеря, и каждый из споривших скорее согласился бы лишиться академического звания, чем признать, что Земля такой формы, как доказывает противная сторона.

Сейчас уже никто не рискнул бы утверждать, что Земля — шар. Вслед за Рише другие ученые, которым довелось побывать на экваторе, вынуждены были подводить там стрелки своих часов. Все чаще сообщали об отставании часов в южных широтах и

путешественники. А каждый, кто не поленился бы подняться на башню обсерватории, мог воочию убедиться, что и Юпитер заметно сплюснут у полюсов. Но не признавать же из-за этого ньютоновскую Землю! И академики, так долго и упорно доказывавшие, что Земля — шар, стали утверждать, что она не сплюснута, а вытянута.

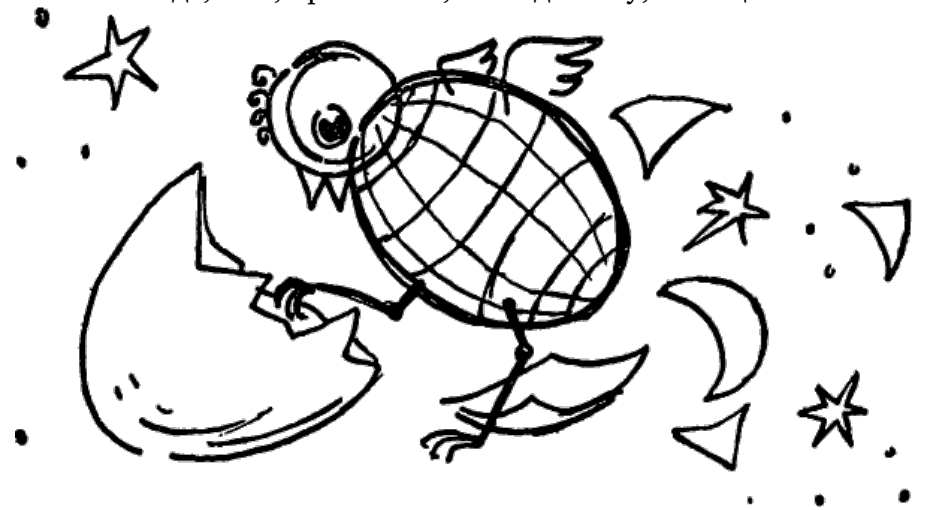


Этому в значительной мере помог немецкий ученый Иоганн Эйзеншмидт. В разгар спора о том, круглая Земля или сплюснутая, он напечатал статью, в которой доказывал, что к северу градус меридиана делается короче. Это могло быть только в том случае, если у полюса земная поверхность загибается круче, чем на экваторе, то есть если Земля вытянута вдоль оси вращения.

Эйзеншмидт взял цифры, выражающие длину градусов меридиана, измеренных в разных местах, и расположил их по порядку — с юга на север; тогда-то и оказалось воочию для всех, что северные градусы короче. По Ньютону же получалось как раз наоборот.

Но что можно было возразить против фактов? И хотя Ньютон и его сторонники доказывали, что многие старые измерения производились неточно и что у Эйзеншмидта совпадение получилось случайно, их научные противники ухватились за

доказательство Эйзеншмидта и стали утверждать, что Земля по форме похожа на яйцо. Это тем более вероятно, говорили они, что и все живое-де, мол, произошло, по-видимому, из яйца.



Сей злополучный труд сильно запутал дело. Спор пошел уже не о том, шар Земля или эллипсоид, а о том, где она сплюснута — у полюсов или у экватора.

Вопрос вызвал столь большой интерес, что в одном только 1733 году вышло шесть солидных научных работ о форме Земли. Авторами их были виднейшие академики: Клеро, Годэн, Лакондамин, Мопертюи, Буге.

Спор затянулся на долгие годы. И неудивительно: от его исхода зависело, подтвердится или будет опровергнут закон всемирного тяготения — одна из основных проблем науки XVIII столетия. Кажущееся теперь бесспорным и хорошо знакомое всем со школьных лет учение Ньютона отнюдь не было таковым в глазах его современников. Особенно большую оппозицию встретили труды Ньютона на континенте. Здесь твердо верили в ту «систему мира», которую пропагандировал француз Рене Декарт. То, что он говорил, было наглядно и убедительно.

Центробежная сила вырвала из первозданного хаоса кусок космоса и образовала огромный вихрь — нашу солнечную систему, в центре которой находится Солнце. А планеты — это завихрения поменьше. Вращаясь, большой вихрь увлекает за собой планеты, подобно тому, как водоворот крутит попавшую в него лодку.

Это было очень легко показать на опыте. Картезианцы (так называли сторонников теории Декарта) брали ведро и наполняли его водой, которая должна была изображать межпланетное пространство. Воду сильно размешивали палкой. Затем палку вынимали, а вода продолжала вращаться сама собой. В этот

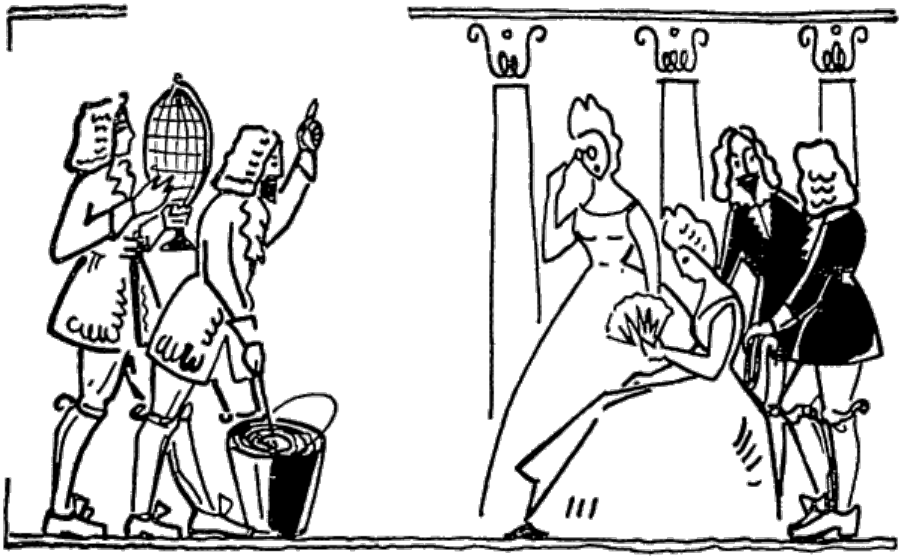
водяной вихрь на разном расстоянии от центра помещали два каких-нибудь предмета. Они тоже начинали вращаться по кругу. И тот, который был ближе к центру, двигался быстрее, совсем как ближайшие к Солнцу планеты. Помимо этого, каждая такая «планета», подобно настоящей, начинала вращаться вокруг своей оси.

Эти «искусственные небеса», как их называли, своей наглядностью могли убедить хоть кого. Все в солнечной системе было просто и слаженно, как в механизме часов: колесики-вихри, вращаясь, зацепляются друг за друга, подталкивают соседей, и планетная машина безостановочно крутится, отбивая секунды столетий.

Ньютон же утверждал, что планеты схожи с волчками, привязанными к Солнцу и друг к другу невидимыми нитями — тяготением, которое непостижимым образом может действовать через совершенно пустое пространство.

Стоило ли так хорошо объясненное Декартом устройство вселенной менять на непонятную силу тяготения, суть которой даже сам автор этой теории не мог растолковать? Где же современникам Ньютона было знать, что природа тяготения надолго останется одной из сложнейших, еще и сейчас не разгаданных проблем науки?

Пользуясь преимуществами наглядности, картезианцы перенесли доказательство своей теории из узкого круга ученых в светское общество. Они устраивали публичные чтения с эффектными опытами. На их лекциях гвозди прилипали к «неодушевленному» куску железа, взвешивался «невесомый» воздух, загоралась цветными огнями искусственная радуга. Под треск этих фейерверков нетрудно было убедить доверчивую публику в том, что Земля — вихрь, и заручиться поддержкой влиятельных при дворе особ. Публичные чтения имели громадный успех. Билеты раскупались заранее, как на театральное представление.



Ньютон же не умел выступать столь легко и изящно. Он привык читать лекции студентам. И когда оказывался перед светской публикой, продолжал читать так же сухо, употребляя специальные термины, безо всякой скидки на неподготовленность слушателей. Он не зажигал фейерверков, не показывал в микроскоп муху, казавшуюся ростом с воробья. Выходя на кафедру, он начинал рассказывать о своей теории так, как она изложена в его книге, сопровождая рассказ теми же мудреными геометрическими доказательствами, которые он придумывал сам и понять которые трудно и сейчас. Поэтому неудивительно, что зачастую он заставал совершенно пустую аудиторию, что, впрочем, его мало огорчало. Молчаливый, погруженный в размышления, он уходил из пустого зала и принимался за прерванную работу, которой посвящал все свое время, не зная отдыха и развлечений.

Картезианская физика между тем входила в моду. Хорошо воспитанный человек должен был уметь поговорить о природе спутников Юпитера, об опытах Торичелли и, разумеется, высказать мнение: сплюснута или вытянута Земля. И даже женская половина французского общества имела на этот счет свою точку зрения. Светские дамы, как писал один из названных выше академиков, «считали, что для чести нации невозможно, чтобы у Земли осталась иностранная фигура, которую придумали один англичанин и один голландец».

Сам великий Вольтер не остался в стороне. Приняв сторону Ньютона, он воспевал сплюснутую Землю и зло высмеивал доводы картезианцев.

Насколько непримиримы были противоречия между

враждующими лагерями, можно судить по тому, что книжку Вольтера, в которой он на французском языке популярно изложил теорию Ньютона, объявили во Франции еретической и сожгли. И долгие годы отдельные сохранившиеся экземпляры считались чуть ли не подпольной литературой. Во всяком случае за хранение этой книги наказывали, как за чтение сочинений, подрывающих основы церкви.

Почти полстолетия не сдавалась цитадель картезианства — Парижская академия наук. Уже не осталось в ее составе ни одного из тех почтенных, дороживших своим мнением старцев, которых так всполошил когда-то смелым заявлением Ньютон. В старинном величественном здании академии раздавались теперь молодые голоса еще не знаменитых, но дерзавших все понять и самостоятельно проверить ученых нового поколения. Францией правил уже другой король. В Англии началась и закончилась ожесточенная борьба между королем и парламентом. Давно умер позабытый всеми изгнанник Рише, да и сам Ньютон был совсем стар и уже не принимал участия в споре, а ответ на пресловутый вопрос: сжатая или вытянутая? — все еще не был найден.

Неверно, впрочем, думать, что за все эти годы не делалось никакой попытки проверить обе теории на практике, измерив длину градуса на севере и на юге. Сторонники Ньютона после сложной и долгой борьбы добились своего: решено было произвести новое градусное измерение от Дюнкерка на Северном море до Барселоны в Пиренеях. Возглавлял экспедицию директор Парижской обсерватории любимец Людовика XIV астроном Жак Кассини — один из тех, кто утверждал, что часы на экваторе отстают из-за жары.

Кассини приступил к измерениям. Но долго находиться вдали от светского общества, да еще для того, чтобы, возможно, опровергнуть свои же выводы, этому придворному ученому не хотелось. Как только начиналась зима, Кассини сразу же прекращал работы и возвращался ко двору. Несколько раз экспедицию надолго прерывали войны. Так продолжалось целых 35 лет. Знаменитое измерение ученый начал, когда находился в расцвете своих сил, а о результатах исследований сообщал академии уже после его смерти сын Кассини, который приступил к этой работе еще подростком.

Градус севернее Парижа оказался равным 56 туазам (один туаз составляет примерно 2 метра), а южнее Парижа — 57. Казалось бы, все ясно: Земля имеет форму яйца, и спорить больше не о чем. Однако ньютонианцы и не думали сдаваться. Они заявили, что Кассини ошибся, и принялись на свой страх и риск мерить градусы меридианов по всей Франции.

Но чем больше накапливалось измерений, тем противоречивее получались результаты. Один раз оказывался короче северный градус, другой раз — южный. Бесконечные промеры так запутали дело, что понять, кто же все-таки прав, стало уже совершенно невозможно. И тогда Парижская Академия наук решилась на крайнюю меру.

Охотники за сплюснутой Землей

Стояла поздняя весна 1735 года, когда от берегов Франции отплыл парусный корабль. Он направился через Атлантику к берегам Южной Америки. А год спустя другой такой же корабль, выйдя из того же порта, повернул на север — к Скандинавии. Виднейшие французские академики, оставив в тиши кабинетов неоконченные научные труды и сменив парики и камзолы на походное платье, отправились измерять меридиан вблизи экватора и у Полярного круга. Надо было, наконец, решить спор, равного которому, пожалуй, не знала история науки. Измерения наметили произвести там, где разница в длине градуса ожидалась наибольшей.

Первая экспедиция во главе с академиками Годэном, Буге и Лакондамином высадилась на побережье испанской колонии Перу. Этим ученым предстояло измерить кусок меридиана, проходящего вдоль широкой долины между хребтами Кордильер. Начать измерения решили от города Кито и двигаться дальше до самого экватора. Но экватор, эту невидимую линию, опоясывающую Землю, еще предстояло найти. И пока основные участники экспедиции добирались с побережья через Кордильеры до лежащего в долине Кито, Лакондамин, высадившись на восточном берегу американского континента, искал экватор.

Он двигался по узкой прибрежной полосе, отвоеванной океаном у джунглей, тянувшихся на много километров в глубь страны. За джунглями высились снежные громады гор. Ни одного селения или хотя бы одинокой хижины не встретилось ему. Днем Лакондамин продвигался вдоль Тихого океана, а ночью, на привале, по звездам определял широту, под которой находился.

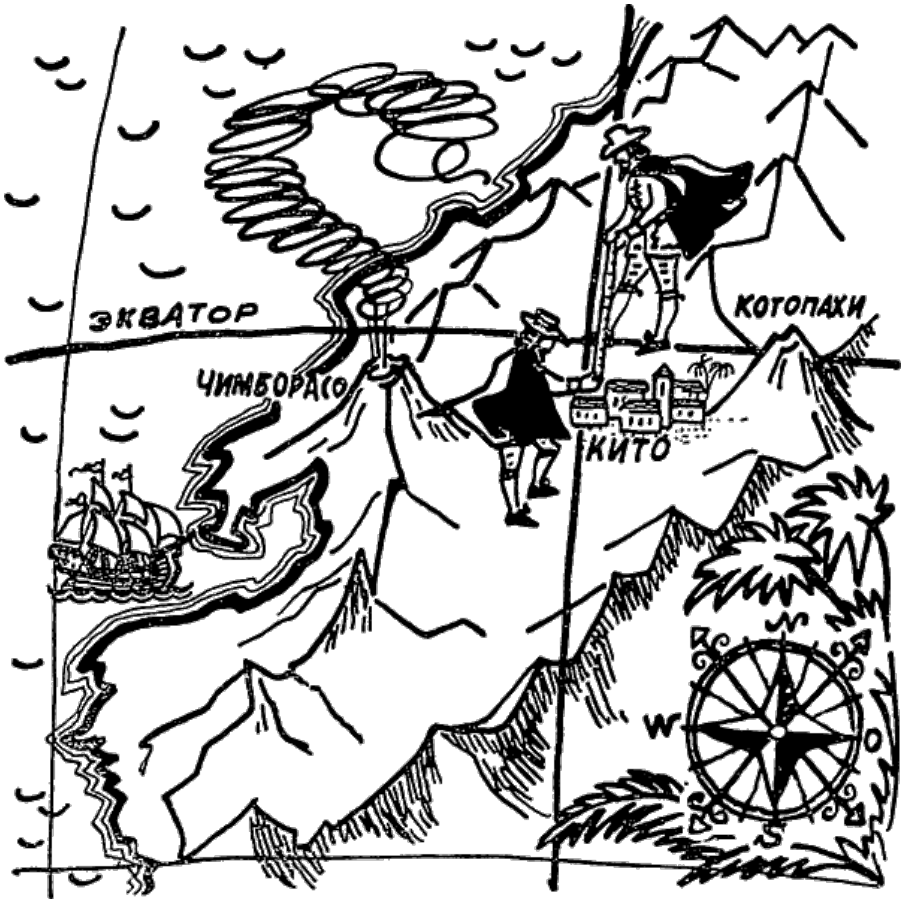
Привычные звезды оказывались совсем в других частях небосвода. Ниже и ниже опускалась каждую ночь Полярная звезда, отстоявшая в то время от Полюса мира примерно на 2°. Все ближе становился экватор. В одну из ночей Полярная звезда сравнялась с горизонтом: где-то здесь густые дебри оплетенного

лианами леса, горные хребты и лежащую за ними долину пересекал экватор. Конечная точка измерений была намечена.

Теперь Лакондамину, затерянному в этих бескрайных лесах, предстояло добраться до города Кито, где его уже ожидали остальные участники экспедиции. Пробираясь по звериным тропам сквозь леса, карабкаясь по горным склонам, переправляясь через бурные реки, Лакондамин, которому никогда прежде не приводилось путешествовать иначе, как в экипаже, очутился, наконец, в Кито. Неизвестно, кончилась ли бы благополучно вся эта эпопея, если бы не его кипучая энергия и страсть к исследованиям.

…Чем южнее продвигалась экспедиция, тем становилось все жарче и жарче. Каждый день, словно по расписанию, шли дожди. Сырой, почти горячий воздух было трудно вдохнуть. Ученых мучила лихорадка.

А стоило подняться в горы, как дождь превращался в снег или град. И люди страдали от холода не меньше, чем от жары. Однажды снежная буря свирепствовала целых три недели. И три недели участники экспедиции отсиживались на вершине горы в тоненькой палатке, прогибавшейся под тяжестью снега. Они не могли даже развести костер — искусством высекать огонь из кремня (ведь спички тогда еще не были известны) им тоже удалось овладеть не сразу.



Вдобавок ко всему местные жители очень враждебно встретили иностранцев. Французов сопровождали два испанских офицера, специально приставленные к ним по распоряжению короля, который только на этом условии разрешил измерять «испанский» меридиан. Но и это не избавляло от неприятностей.

Дело в том, что, по преданию, индейцы, спасая свои богатства от испанских завоевателей, спрятали их где-то в горах. Не раз предпринимались отчаянные попытки отыскать этот клад. Но тщетно, он так и не был найден. И как только появились французы, лазавшие по горам непонятно зачем, индейцы решили, что те переплыли океан, чтобы завладеть их сокровищами.

Однажды, когда ничего не подозревавшие ученые принялись за измерения, на них накинулись индейцы и забросали камнями. Пришлось спасаться бегством. Один из участников экспедиции, не успевший скрыться, был убит.

Но на этом злоключения экспедиции не кончились. Началась англо-испанская война. Сопровождавшие экспедицию офицеры отправились на фронт, и ученые вынуждены были дожидаться, пока кончатся военные действия. Без «конвоиров» испанский

король не разрешал французам делать ни шагу. Все это очень осложняло дело.

К тому же и среди членов самого научного отряда не было полного согласия.

Буге больше всего интересовало не само измерение меридиана, а кто будет считаться его «автором». Он настоял, чтобы каждый академик производил работы самостоятельно и до возвращения во Францию не раскрывал результатов остальным. Годэну было все равно, как мерить: он во всем соглашался с остальными. Неутомимый Лакондамин, который успевал не только заниматься основным делом, но и собирать гербарии, ловить диковинных насекомых, лазать по горам в поисках минералов, решил, что проверенный трижды результат будет точнее. Но предложенный Буге порядок работ надолго задержал экспедицию в горах Перу. Шел девятый год, как она отплыла от берегов Франции, когда измерение меридиана было, наконец, закончено.

Годэн, Буге и Лакондамин сообщили друг другу результаты в зашифрованном виде и порознь отправились в обратный путь. Прошло еще несколько лет, прежде чем они встретились на собрании академии в Париже и узнали, кто же из них точнее измерил меридиан.

Первым на корабле, шедшем старым путем из Южной Америки, вернулся во Францию Буге. А Лакондамин купил плот и пересек весь материк по совершенно не исследованной тогда Амазонке. Он проплыл от самых ее истоков, где еле умещался плот, до бескрайных плесов, открывавшихся в океан. Из порта Пару, расположенного в устье Амазонки, он на попутном корабле добрался до Франции и появился в Париже спустя несколько лет после Буге. А Годэн остался на службе у испанского короля и попал во Францию еще позже.

Пока первая экспедиция путешествовала по тропикам, Мопертюи, Клеро, Камю, Лемонье и Цельсий — участники второй экспедиции — двигались вдоль меридиана, проходящего по долине реки Торнео — на границе между Финляндией и Швецией.

До устья реки добрались морем. Предстояло подняться вверх по ее долине. Но кругом был густой лес, росший на сплошных болотах. К тому же местность оказалась почти безлюдной. В тайге не было не только дороги, но и тропинку в девственных зарослях приходилось буквально прорубать. Поэтому двигаться решили по реке.

И этот путь не был легким. С каждым новым поворотом перед горожанами, которым более привычны были мостовые Парижа,

открывались новые пороги, из которых, казалось, и состояла вся река. Волны в пыль разбивались о скалы, и над ними, не опускаясь, висел туман из мелких брызг. Грохот водяных валов доверху заполнял узкое ущелье, оглушая и пугая людей, осмелившихся плыть по капризной реке. Сам Мопертюи признавался потом, что всякий раз, как показывались очередные пороги, у него волосы вставали дыбом.

Хотя было лето, но французам оно казалось хуже всякой осени. Все время моросил дождь. Холодные туманы, не боясь почти негреющего северного солнца, сплошной непроницаемой пеленой окутывали долину, скрывая таящиеся впереди скалы. Земля словно насквозь пропиталась влагой. На берег нельзя было ступить: он весь превратился в сплошную трясину.

Настоящие же беды пришли, когда лето, не успев начаться, кончилось и задул свирепый норд. Река стала быстро замерзать. Свободной оставалась лишь середина. Наступила полярная ночь. Работать приходилось при ярких сполохах северного сияния, которого французы никогда раньше не видели. Но Мопертюи и его товарищи все же закончили измерение, затратив на это полгода. Достигнув Полярного круга, экспедиция тронулась в обратный путь.

С большим трудом добрались до устья реки, откуда началось путешествие. Но море и залив покрывал лед, и никакого сообщения с Большой землей не было. Отважным путешественникам пришлось зимовать в маленьком шведском городке, который носил то же имя, что и впадающая в залив река. Лишь через полгода, в середине лета, в Торнео пришел корабль, который увез ученых во Францию.

Париж встречал их как национальных героев. Лапландская экспедиция, по меткому выражению французов, привезла сжатую Землю, «ньютоновский облатум». Длина градуса в Лапландии оказалась равной 57 438 туазам (111,95 километра), то есть на 737 метров больше, чем на севере Франции. Даже и без перуанского градуса было ясно, что прав Ньютон. Спор, который с таким ожесточением вели в течение целого поколения, закончился. Но самого Ньютона уже давно не было в живых, и вся слава досталась участникам этих грандиозных экспедиций.

Мопертюи, закутанного в меха, в мохнатой лапландской шапке — таким, как он явился прямо с корабля на чинное собрание академии, чтобы доложить о своей победе, — изобразили на медали. В одну руку ему вложили палицу Геркулеса, в другую — сплюснутый земной шар. Вольтер

посвятил ему свои стихи, и с его легкой руки Мопертюи теперь называли не иначе, как «тот, кто сплюснул Землю и всех Кассини».

Когда же до Парижа добрались, наконец, участники перуанской экспедиции, то оказалось, что градус в Перу на целый километр короче, чем в Лапландии.

Франция заново переживала победу своих ученых. Отчетами об экспедициях зачитывались, как приключенческими романами. А книги Мопертюи о путешествии в Лапландию и Лакондамина о плавании по Амазонке и пребывании в Перу пользовались не меньшим успехом, чем современная «Кон-Тики». Их издали громадным тиражом и перевели на многие языки.

Спор закончился. Землю признали сплюснутой. Но имел ли этот спор какое-нибудь значение, кроме того, что восторжествовали правильные взгляды на нашу планету? Был ли заинтересован в правильном его исходе хоть один мореплаватель или путешественник — те, кому нередко приходится пересекать полпланеты? Могло ли сказаться на выборе их пути, что полярный радиус на 20 с небольшим километров короче экваториального? Ведь на обычном глобусе это даже невозможно изобразить.

Вот что удалось высчитать тому же Мопертюи: «Если мы вычертим карту, — говорил он, — построив ее по тем градусам, которые даны в таблице Кассини для Земли-лимона, а потом окажется, что Земля имеет форму, предписанную Ньютоном, то на ширине Тихого океана близ экватора эта карта даст ошибку в 300 километров. А разве мы не слыхали о множестве кораблекрушений, происшедших из-за гораздо меньших ошибок?»

«Градусный аршин»

Сейчас трудно сказать, кто надумал сосчитать, сколько «шагов» делает Солнце по небу. У древних мудрецов-звездочетов выходило, что за день оно делало 180 шагов, проходя только половину небесного круга, видимого над Землей. Другие 180 шагов Солнце делало ночью. Получалось, что полный круг около Земли Солнце обходило за 360 шагов. Эти «шаги» и назвали потом градусами. И хотя позже ученые и сообразили, что это не Солнце ходит вокруг Земли, а Земля вертится волчком, подставляя Солнцу один бок за другим, но небесный круг продолжали делить на 360 шагов-градусов.

На 360 частей стали делить любую окружность, в том числе и земную. А через точки деления провели меридианы и параллели. Это было очень удобно: каждая точка на земной поверхности имела теперь свой точный адрес — широту и долготу, которую можно было считать по градусам и их долям — минутам и секундам. Градусы пригодились и при определении размеров Земли.

На первый взгляд кажется совершенно немыслимым точно измерить огромный земной шар, на объезд которого в XVI веке Магеллану потребовалось целых три года. Даже современный реактивный самолет, как «ТУ-114», например, движущийся со скоростью 800 километров в час, без посадки потратил бы на его облет свыше 10 часов. Как же измерить Землю? Выручает остроумный способ, изобретенный древними математиками.

Вместо того чтобы обходить с рулеткой всю Землю, они решили измерять только часть земной окружности между двумя какими-либо точками на земной поверхности. А затем определяли, какую долю полного круга составляет этот кусок. Оставалось, как легко догадаться, произвести простое умножение. Если мы хотим узнать «рост» Земли — ее протяженность от полюса до полюса, — определять надо расстояние между городами, лежащими на одном меридиане между Москвой и Харьковом, например. Оно равно приблизительно 640 километрам. Если нас интересует, какая у Земли «талия», за основу возьмем длину куска параллели.

Измерить расстояние между выбранными точками в линейных мерах не представляет особой трудности. А как узнать, какую часть всей окружности мы измерили? Вот тут-то и помогли градусы. Достаточно отсчитать, сколько параллелей отделяют тот и другой город от экватора или сколько меридианов укладывается между каждым из городов и начальным — нулевым — меридианом, чтобы получить длину измеряемого отрезка в градусах.

Но расстояние какой-либо точки на земной поверхности от экватора, выраженное в градусной мере, — это ее географическая широта. Расстояние же до нулевого меридиана — географическая долгота. Поэтому, чтобы определить длину отрезка на поверхности нашей планеты в градусах, не надо пересчитывать все параллели между Москвой и экватором и, скажем, Харьковом и экватором. Вместо этого просто определяют разность широт между этими городами. Она равна 5¾°.

В свою очередь, чтобы узнать, сколько градусов между Москвой и Красноярском, не надо пересчитывать меридианы между Москвой и Гринвичем и между Гринвичем и Красноярском.

Опять-таки достаточно узнать разность долгот Москвы и Красноярска.

Такими измерениями и занимались участники Перуанской и Лапландской экспедиций. Лакондамин, Годэн и Буге, каждый отдельно от других, промерили, сколько километров между городами Кито и Куэнки, лежащими на одном меридиане. Оказалось, они находятся друг от друга на расстоянии примерно 345 километров. Затем они измерили широту того и другого города и нашли их разность. Получилось, что расстояние от Кито до Куэнки составляет 3°8′.

Мопертюи же и его товарищи промерили расстояние от города Торнео до Полярного круга. Оно составило 110 километров. Разность широт между конечным и начальным пунктами равнялась как раз 1°. Это и было градусным расстоянием между ними.

А дальше уже идет чистая арифметика.

Измерив одно и то же расстояние и в километрах и в градусах, Лакондамин и Мопертюи брали лист чистой бумаги и принимались решать арифметическую задачу, подобную той, которую каждый из нас без особого труда не один раз решал в школе.

Раз известно, что на дугу в 5¾° — между Москвой и Харьковом, допустим, — приходится около 640 километров, то дуга в один градус будет в 5¾ раза короче. А вся земная окружность, в которой, как известно, 360°, будет в 360 раз длиннее одного градуса. Разделив расстояние между городами на количество градусов, умещающихся между ними, и помножив результат на 360, мы и получим длину земной окружности.

А зная ее, не трудно по всем известной формуле найти, чему равен радиус Земли: надо лишь разделить 40 тысяч километров, составляющих длину земной окружности, на знаменитое 2π. Так, не обмеряя всю Землю, а лишь приложив к ней в одном каком-либо месте «градусный аршин», и узнают величину нашей планеты.

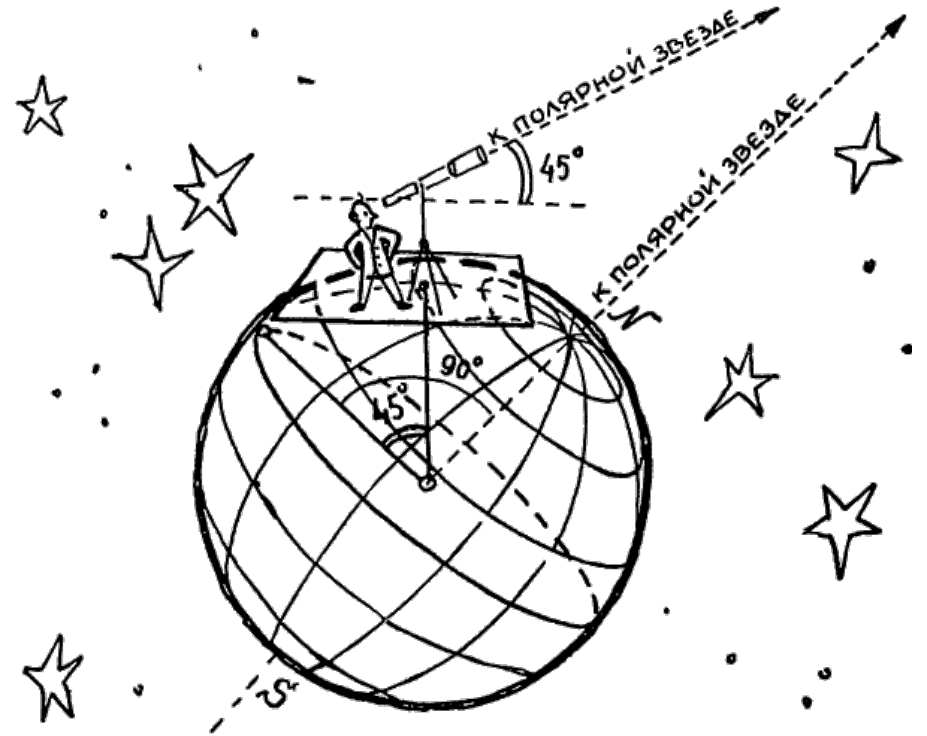
Способ очень остроумный и удобный, но… вот как определить саму широту? На бумаге все выглядит просто. Кружок с точкой посредине — это наша Земля. Если провести один радиус к экватору, а другой на ту параллель, которая проходит через Москву, то угол между экваториальным и «московским» радиусами и будет широтой Москвы. Ведь его стягивает дуга той самой окружности, по которой мы отсчитывали, сколько градусов отделяет Москву от экватора. Его и надо определить.

Легко сказать — измерить угол в центре Земли. А как это сделать? Ученые поступили очень просто: они перенесли

измерения из земных недр на небесный свод — предложили определять в нужном месте высоту Полярной звезды. «Все равно вы тем самым измерите широту этого города, — говорили астрономы. — Только не по земным, а по небесным градусам». И они были правы.

Секрет такой подстановки заключается в следующем.

Из-за того, что Земля вращается, нам кажется, что небесный свод вместе с нашим Солнцем и другими звездами медленно поворачивается. И только одна-единственная из мириадов видимых нам звезд остается на месте. Это и есть Полярная, которую может легко найти каждый, если мысленно продолжит боковую стенку ковша Большой Медведицы. Где-то в трудно вообразимой условной дали за ней находится Полюс мира, вокруг которого вращается наша звездная семья.



Высота звезд и Солнца на небосводе непрерывно меняется, а далекий огонек Полярной звезды все время висит на одном и том же уровне. Зависит ее высота над горизонтом только от широты места, откуда за ней наблюдают. Двигаясь вдоль меридиана к северу, мы заметим, что она поднимается все выше. А там, где Полярная звезда очутится прямо над головой, находится Северный полюс. И наоборот, чем южнее, тем все ниже и ниже опускается Полярная звезда к горизонту, пока, наконец, не коснется его. А где коснется, там проходит линия экватора.

Именно так и искал Лакондамин экватор на побережье Перу.

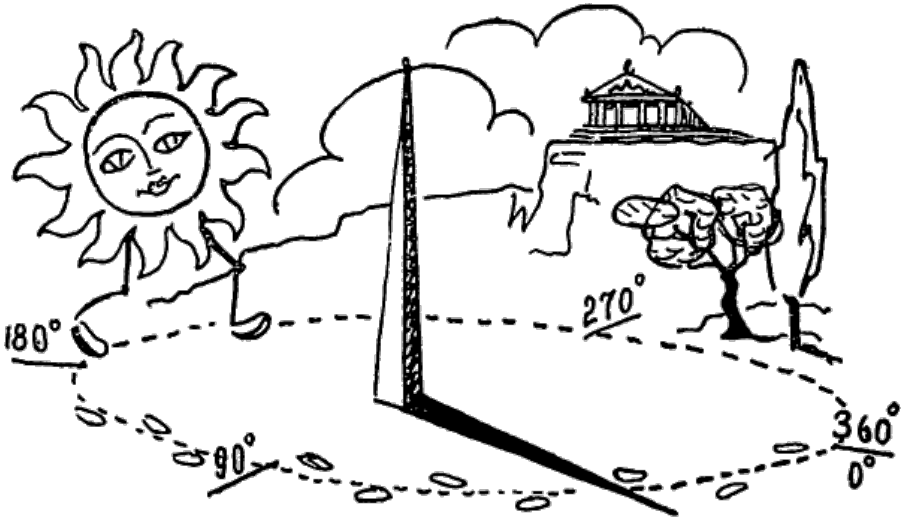
Получалось, что высота Полюса мира и широта места как бы связаны невидимым шарниром: какую часть земной окружности пройдет пешеход от экватора, на столько же градусов поднимется по небесному своду от горизонта Полярная звезда. Вот и стали измерять не тот угол, который находится в центре Земли между экватором и, допустим, «московским» радиусом, а тот, что образован горизонтом и мысленной линией, соединяющей Полюс мира с Москвой.

Вообще-то говоря, чтобы определить широту, не обязательно наблюдать именно Полярную звезду. Можно измерять и высоту Солнца или других ярких звезд. Ведь они тоже представляются нам то выше, то ниже на небе в зависимости от широты места. Высота звезд над горизонтом поможет определить широту места. Но пройденному по Земле отрезку в один градус будет соответствовать уже не один небесный градус, а дробная величина.

Открыл этот способ заочного измерения Земли две с лишним тысячи лет назад александрийский ученый Эратосфен. Путешествуя, он обратил внимание, что во время летнего солнцестояния — 22 июня — в Южном Египте, в городе Сиена (Ассуан), Солнце в полдень стоит прямо над головой — люди, здания не отбрасывают тени. Но он хорошо помнил, что в Александрии, где он жил, Солнце в этот день оказывается намного ниже — даже в полдень предметы имеют там короткую тень. Тогда считали, что Александрия и Сиена лежат на одном меридиане, и он решил измерить разницу между высотой Солнца в том и другом городе, то есть определить разницу их широт.

Эратосфен взял полукруглую медную чашу, на дне которой в самом центре укрепил вертикально вровень с краями тонкий проволочный стержень. В середине чаши он провел черту, которую разделил поперечными черточками на 180 частей — градусов.

Дождавшись 22 июня, Эратосфен поставил свой самодельный прибор — он назвал его скафис — на площади в Александрии и стал наблюдать за тенью от стержня, падавшей на черту с делениями. Тень становилась все короче и короче по мере того, как Солнце поднималось все выше и выше. В полдень она покрыла 7,5 деления на дне чаши, а затем снова стала увеличиваться. Эратосфен сделал вывод, что Солнце в Александрии 22 июня поднялось на 82,5°, не дойдя до зенита на 7,5°. В Сиене же в этот день оно должно было пройти все деления, то есть подняться на 90°.



Получалось, что эти города расположены на расстоянии 7,5° друг от друга. В то же время Эратосфену было известно, что караванщики, часто приходящие с грузом из Александрии в Сиену, считают, что между ними 5 тысяч египетских стадий. Приложив к Земле свой градусный аршин, он вычислил длину земной окружности: получилось около 250 тысяч стадий, а радиус Земли оказался равным 39 700 стадий (одна египетская стадия равна почти 200 метрам).

Сейчас известно, что эти города не лежат на одном меридиане. Сиена — на 3° восточнее Александрии, а разность их широт не 7°30′, а 7°7′. Вычислениям Эратосфена не хватало точности. Но сам принцип измерений планеты сохранил свое значение и в наши дни. Он так и получил название градусных измерений. Только скафис Эратосфена сильно изменился, превратившись в универсальный астрономический инструмент.

Наблюдатель ловит звезду в окуляр прибора так, чтобы она оказалась на своеобразной «мушке» — пересечении двух перпендикулярных линий. Затем по специальному кругу, очень точно разбитому на градусы, определяет, на какой угол оказалась при этом наклонена труба телескопа к горизонту.

Если вам попадется морской роман, в котором описывается, как капитан взял в руки секстан и стал ловить солнце, чтобы определить местоположение судна, то вы, конечно, легко догадаетесь, каким образом он определял свои координаты. Собственно, только одну из них — широту. А долгота?

Определять долготу достаточно точно научились только с начала прошлого века, хотя уже давно догадались, что мерой долготы может служить время.

В самом деле: если полный оборот (360°) наша планета совершает за 24 часа, то каждый час она поворачивается на 15°.

Значит, измерив, сколько сейчас времени в Москве и в том же Красноярске, мы можем определить, какой кусок окружности нужно пройти Москве, чтобы ее время совпало с красноярским. Тем самым мы узнаем, каково градусное расстояние между городами. Конечно, нужно брать не поясное время, по которому идут городские часы в Москве и Красноярске, а местное.

Местное время найти не сложно. Его, как и широту, определяют по звездам. Ведь из-за вращения Земли нам кажется, что за сутки звезды как бы обходят вокруг нашей планеты.

Но, чтобы сравнить местное время разных городов, надо точно знать, который час на нулевой долготе — откуда и идет счет времени. Его по «местным» звездам не определишь. Нужны часы, которые могли бы сохранять неизменным нулевое время повсюду. Тогда в любой момент можно, взглянув на эти часы, узнать, который теперь час на нулевом меридиане.

Вот в часах-то и оказалась загвоздка. Маятниковые часы Гюйгенса, наделавшие в свое время так много шума, для этой цели не годились — время в них изменялось при переезде с места на место. И даже более совершенный хронометр, в котором гирю сменила пружина, а место маятника занял балансир, плохо сохранял время. Ход часов страдал от качки, температуры и других обстоятельств, которые трудно предусмотреть. Поэтому долготу вплоть до недавнего времени определяли очень приблизительно.

Лишь с изобретением радио стало возможным, наконец, не возить гринвичское время с собой, а узнавать его по сигналам, передаваемым в эфир. Теперь долготу в любом самом глухом месте удается определять достаточно точно.

Но… В науке очень много этих «но».

Пока Земля считалась круглой, градусные измерения были как бы универсальными. Стоило измерить кусок *любой* параллели или меридиана, и путем арифметических расчетов вы определяли радиус земного шара. На сплюснутой же Земле все оказалось гораздо сложнее.

Определив радиус Земли, вы должны обязательно добавить, какой именно радиус получили. Ведь полярная полуось — теперь это точно известно — короче экваториальной. А насколько?

Лакондамин по своему куску меридиана высчитал, что она на $^1/_{314}$ меньше экваториального радиуса, а у Мопертюи на основе лапландских измерений полярная полуось получилась короче на $^1/_{214}$.

Кто прав?

Стало ясно, что окончательный ответ на вопрос о форме нашей планеты может быть дан только после того, как вся Земля

будет промерена вдоль и поперек. И ученые, вооружившись «градусным аршином», отправились вдоль меридианов и параллелей.

«Закройщики» планеты

На рассвете В. Я. Струве проснулся от холода; тонкое полотно палатки тяжело провисло под снежным грузом. Он взглянул на термометр — ртутная стрелка сползла на 13 делений вниз от красного рубежа. 13° по Реомюру! Зима наступила внезапно.

Нечего было думать о продолжении работ. Он и так задержался здесь. Отпуск кончился, в Дерптском университете уже начались лекции, и его ждали студенты, которым он вот уже пятый год открывал тайны звездного неба.

Давно ли он сам слушал лекции в том же университете, а летом уезжал на север — в Лифляндию и без устали бродил по полям и болотам, измеряя дерптский меридиан? За эти шесть-семь летних путешествий он промерил уже довольно большой кусок: от острова Гогланд, что посредине Финского залива, до города Якобштадта — 384 версты, или 3°35′.

В окрестностях этого маленького курляндского городка его и застал ноябрь 1827 года. Пришлось вернуться в Дерпт.

Но мысль продолжить измерение не оставляла В. Я. Струве. Уж очень удобен был этот меридиан, проходивший в значительной своей части по пологой равнине. Тем более, что несколько лет назад кусок того же меридиана между Двиной и Припятью длиной в 482 версты уже был промерен генералом К. Теннером, составлявшим по заданию генерального штаба карту Литвы. Литовская дуга Теннера начиналась всего в 30 верстах от южной оконечности балтийской дуги Струве.

Мысль соединить обе дуги пришла и генералу К. Теннеру. Узнав, что помощник наблюдателя Дерптской обсерватории один, на скудные средства, отпущенные университетом для «ученых путешествий», промерил довольно большую дугу меридиана, над которым он сам трудился в течение многих лет, генерал в январе 1828 года приехал в Дерпт.

А летом следующего года балтийская и литовская дуги благодаря совместным работам двух самоотверженных российских ученых слились, образовав длинный отрезок от Финского залива до Пинских болот.

Два года спустя на имя министра народного просвещения от

астронома В. Я. Струве поступил новый проект удлинения этой дуги на север: от Финского залива, через всю Финляндию до шведского города Торнео — того самого, откуда начала в прошлом веке свои измерения экспедиция Мопертюи.

После долгих обсуждений проект был одобрен. В помощь В. Я. Струве выделили трех офицеров генерального штаба. И работа началась.

В течение нескольких лет пробирались геодезисты через финские болота и озера, ветвящиеся на тысячи проток, заливов, заводей, через сплошные непроходимые леса. И, наконец, вышли на берег Ботнического залива вблизи Торнео. Дальше начиналась шведская земля.

«Лучший астроном России», В. Я. Струве был назначен к тому времени директором Пулковской обсерватории, а измерение дерптского меридиана по настоянию В. Я. Струве взяла под свое непосредственное покровительство Петербургская Академия наук.

По поручению академии В. Я. Струве и отправился в Стокгольм, чтобы испросить разрешение короля Швеции и Норвегии Оскара продолжить измерения на территории этих государств.

Старое измерение Мопертюи по точности уже не удовлетворяло ученых XIX века. Кроме того, Мопертюи не дошел до конца материка, а В. Я. Струве мечтал довести свою дугу до самой северной точки Европы.

Король Оскар лично принял русского астронома и обещал содействовать этим работам. Были снаряжены две экспедиции. Шведы двигались от Торнео на север, а норвежцы спускались от северной материковой оконечности — мыса Нордкап. В рыбацкой деревушке Фугленес, (где встретились обе экспедиции), в скалу заделали стальной цилиндр, на который были нанесены две пересекающиеся тонкие линии — так обозначили астрономическую точку конца дуги.

А тем временем на юге генерал Теннер упорно прокладывал трассу через непроходимые Пинские болота к Днестру. Окончив северное измерение, В. Я. Струве поехал к нему, и они, пройдя Бессарабию, довели дугу до самого Дуная. Южный конец дуги увенчала четырехгранная чугунная пирамида, установленная на площади в селе Старо-Некрасовке.

Почти сорок лет заняло это грандиозное предприятие. Огромная дуга протянулась на 2800 километров от устья Дуная до берегов Северного Ледовитого океана. Ее так и назвали «дугой Струве», и долгое время она была одной из самых больших в мире. Результатами этого измерения пользуются до сих пор.

В XIX и XX веках земной шар покрывается сетью таких

градусных измерений. Какое значение придавалось землемерным работам, можно судить хотя бы по тому, что в разгар Французской революции по распоряжению Конвента двое ученых отправились измерять меридиан от Дюнкерка до Барселоны — тот самый кусок, по которому так не спеша путешествовал когда-то Кассини. Продолженная до Алжира, эта градусная дуга и в наши дни является одной из наиболее крупных в Европе. Она имеет протяженность свыше 3 тысяч километров.

Английский генерал Эверест пересек по меридиану всю Индию — от Гималайских гор до побережья океана. В Америке такой «градусный аршин» протянулся вдоль Атлантического океана — от Мексиканского залива до Канады.

Дошла очередь и до параллелей. Одной из первых промерили 52-ю параллель, которая идет от западных берегов Ирландии через Гринвич, Париж, Берлин, Варшаву, Орел, Саратов. Другая нитка градусных вех протянулась от побережья Франции до Астрахани. Громадная трансконтинентальная дуга пересекла Северную Америку от Атлантического до Тихого океана.

Русские ученые осуществили самое северное градусное измерение в мире. Экспедиция на остров Шпицберген считалась одним из крупнейших научных предприятий Российской Академии наук в XIX столетии. Продвигаясь на шлюпках среди плавучих льдов, заполнявших проливы между островами, карабкаясь по обледеневшим скалам, перебираясь через трещины, несмотря на пургу, туман, свирепые ветры и не менее суровые морозы, русские геодезисты промерили за два лета 470 километров вдоль меридиана, пересекающего архипелаг под 20° восточной долготы.

И все же в дореволюционной России общая длина градусных промеров не превышала нескольких тысяч километров. За годы же только первых советских пятилеток было измерено больше 80 тысяч километров меридианов и параллелей. Работы проводились по строгому плану. Уже к 1938 году ими была охвачена почти вся Европейская часть страны, Средний и Южный Урал, Казахстан. Градусную сетку проверили почти на половине территории Союза.

Эти обширные исследования позволили заново определить размеры земного эллипсоида. Но величина его, вычисленная одними учеными, несколько отличалась от той, которая получалась у других. До недавнего времени самым правильным считался эллипсоид, вычисленный американским ученым Д. Хейфордом еще в 1910 году. Он и был принят за международный.

Год от году градусные измерения становились все более

точными. В 1940 году известный советский геодезист член-корреспондент Академии наук СССР Феодосий Николаевич Красовский на основе современных высокоточных промеров территории нашей страны доказал, что международный эллипсоид вычислен с ошибками.

Ученые, определяющие земной эллипсоид, отчасти напоминают закройщиков. Те ведь тоже по нескольким обмерам воссоздают форму фигуры. Размеры планеты получаются наиболее точными у того, кто вложил в свой труд больше умения и искусства и пользовался более правильным «сантиметром».

Теперь, когда градусы оказались разной длины, нужно было мерить возможно более длинный кусок меридиана или параллели протяженностью не меньше 2–3 тысяч километров. И брать таких кусков несколько. К тому же их следовало взять из разных мест земного шара: одни около экватора, другие поближе к Полярному кругу. Ведь из них предстояло вычислить «средний» градус.

И широту или долготу теперь измеряли не только по концам отрезка. Всю многокилометровую дугу делили на мелкие куски длиной в 100 или даже 50 километров. И определяли астрономические координаты в каждой из таких «зарубок».

Когда Д. Хейфорд определял размеры Земли, он использовал градусные измерения небольшой протяженности и в основном на территории США. Интервалы же, с которыми измерялись координаты точек, были довольно большими. Поэтому эллипсоид Хейфорда оказался слишком велик для Земли. Его экваториальный радиус, по самым скромным подсчетам, получился метров на 100 больше настоящего.

Многие страны, среди них и Россия, пользовались другим эллипсоидом, вычисленным еще в прошлом веке немецким астрономом Ф. Бесселем. Он взял за основу 10 градусных дуг общей длиной в 6 тысяч километров и расположенных в разных странах. А «зарубки» стояли на них через каждые 150 километров. Но Ф. Н. Красовский обнаружил, что и этот эллипсоид не годится: он слишком мал для Земли. Его экваториальная ось метров на 800 короче действительной.

Назрела необходимость более точно высчитать размеры Земли. За этот ответственный труд и взялся Феодосий Николаевич Красовский со своим учеником Александром Александровичем Изотовым. Они использовали градусные измерения, сделанные не только на территории нашей страны, но и главнейшие западноевропейские. Вместе взятые, эти измерения образовали очень длинные дуги меридианов и параллелей, что обеспечило вычислениям бóльшую точность, чем предшествовавшим работам.

По новым подсчетам, расстояние от центра Земли до экватора оказалось на 21 километр 382 метра больше, чем до полюса. А длина экваториального радиуса достигала 6 378 245 метров. Сжатие Земли получилось меньше, чем у Ньютона. Оно равнялось $^1/_{298}$. За определение формы и размеров Земли Ф. Н. Красовскому и А. А. Изотову в 1952 году была присуждена Сталинская премия.

Сейчас величина земного эллипсоида вычислена с точностью, о которой и не мечтали изобретатели «градусного аршина». Но значит ли это, что его размеры определены уже окончательно?

Конечно, нет. Ведь этот результат получен по градусным измерениям, произведенным на территории Западной Европы, США и примерно на половине территории нашей страны. А какую форму имеет земная поверхность в других частях земного шара?

За последние годы завершилось африканское градусное измерение по 30-му меридиану от мыса Доброй Надежды до устья Нила. В Европе продолжение этой дуги промерено до Скандинавии. В результате образовался непрерывный «аршин» протяжением около 100°. Недавно же закончилось измерение американского меридиана от Канады до Чили длиной тоже около 100°. Это сейчас самые длинные из промеренных дуг меридианов. По ним могут быть получены еще более точные сведения о

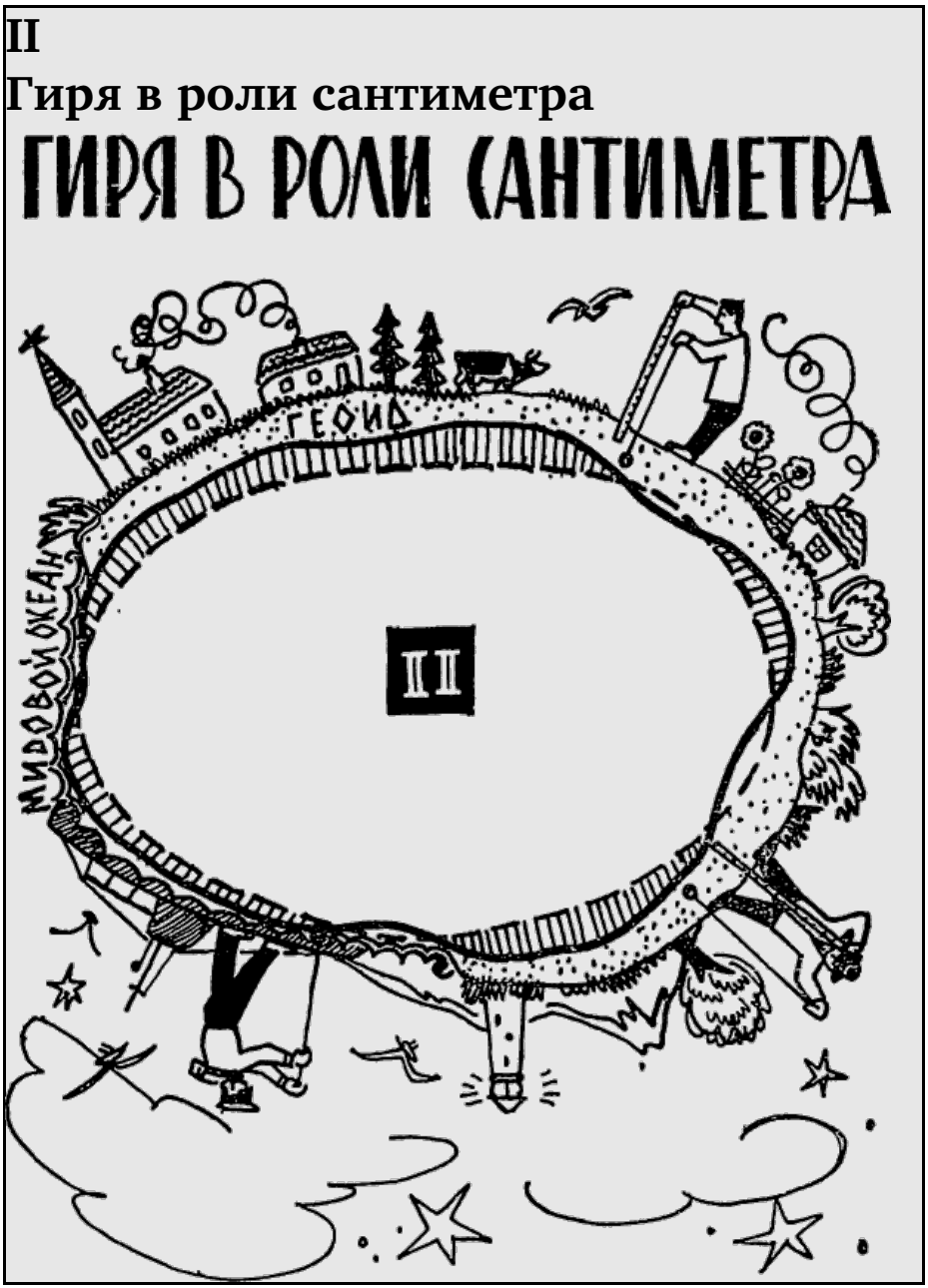
размерах земного эллипсоида. Предварительно такое вычисление уже произведено американскими геодезистами. Оказалось, что новые размеры эллипсоида хорошо согласуются с выводами Ф. Н. Красовского.

150 лет меряют ученые земные меридианы и параллели. А много ли они сумели сделать? Градусными измерениями покрыта всего-навсего $^1/_{10}$ часть нашей планеты. Этого, конечно, слишком мало, чтобы судить об истинной фигуре Земли. Геодезисты давно уже мечтают о сплошной градусной съемке *всей* планеты. Но как ее осуществить?

Главная же беда заключается в другом. Казалось бы, теперь, когда закончились многолетние споры, никаких сомнений в том, что Земля — эллипсоид, не может возникнуть. Но спросите ученых, какую форму имеет земной шар? И вы услышите в ответ: Земля ближе всего к геоиду.

Что означает это короткое незнакомое слово?

II
Гиря в роли сантиметра



Путешествие полюса

Каждый, кто читал роман Жюля Верна «Дети капитана Гранта», вероятно, помнит, какие удивительные приключения

довелось испытать его героям. В поисках капитана Гранта они перебрались через Кордильеры, пересекли по параллели всю Южную Америку, переплыли через Атлантический и Индийский океаны, прошли с запада на восток Австралию, а затем — все по той же параллели — Новую Зеландию. И, наконец, на острове Табор — этом небольшом клочке суши, затерянном в Тихом океане, — встретились с отважным шотландцем.

Героям книги пришлось совершить почти кругосветное путешествие по 37-й параллели. И все потому, что в документах, которые они обнаружили в бутылке, выловленной в море, сохранилось только обозначение широты — 37°11′, на которой произошло кораблекрушение. А цифра, указывающая вторую половину нужного им адреса — долготу, была смыта морской водой и осталась неизвестной.

На том, что у любой точки на Земле есть постоянный адрес, и основан замысел романа Жюля Верна, позволивший ему вести своих героев через многие страны и развернуть целую серию увлекательных приключений.

Герои Жюля Верна путешествовали в XVIII веке. А вот удалось бы им найти место кораблекрушения, если бы они отправились на его поиски сейчас? Ведь, как доказали ученые, теперешняя 37-я параллель, если говорить точно, проходит не совсем там, где раньше, и остров Табор окажется несколько в стороне от широты, которая была указана в романе Жюля Верна.

Впервые о том, что широта одних и тех же мест на земном шаре меняется, сообщил международному геодезическому конгрессу, состоявшемуся в конце прошлого века, немецкий астроном Кюстнер.

На всех картах обозначено, что Берлин расположен на параллели 52°30′. А Кюстнер утверждал, что только за несколько лет широта Берлина изменилась. Правда, на немного. Всего на сотые доли секунды. Но длина одной секунды дуги — это целых 30 метров!

Доклад ученого вызвал большой шум: не мог же целый город со всеми жителями незаметно переместиться к югу или северу? От Кюстнера потребовали объяснений. Но ученый мог лишь повторить то, что следовало из его наблюдений.

Он определял положение на небе семи звездных пар, нужных ему для астрономических вычислений. Координаты звезд, как обычно, отсчитывал от Полюса мира. И вот, когда наблюдения были закончены, Кюстнер обнаружил, что определенные им координаты звезд отличаются от тех, которые несколькими годами раньше для них же получили русские астрономы в Пулкове.

Кюстнер заново пересчитал все цифры: координаты звезд не сходились. Оставалось предположить, что за время, прошедшее между наблюдениями русских астрономов и его, изменилась широта Пулкова и Берлина, поэтому высота Полярной звезды при наблюдении с Земли и получается иной.

Вообразить «ожившими» линии, начерченные человеком на бумаге и не существующие в действительности, было трудно. Но за широтами все же решили присматривать.

За ними стали следить одновременно в Берлине, Потсдаме, Праге и Страсбурге. И уже через год подтвердились невероятные выводы Кюстнера: вопреки здравому смыслу широта каждого из этих городов менялась на глазах.

Пришлось организовать даже специальную «службу», которая следила бы за тем, как изменяются широты. Для этой цели выбрали несколько точек, расположенных на параллели 39°8′: Мицузаву в Японии, Чарджоу в России, Карлофорте на одном из островов Италии, Гейтесбург, Цинциннати и Юкайю в Северной Америке. Так были созданы специальные станции, кольцом опоясавшие земной шар.

Сейчас на территории нашей страны такие же станции действуют в Полтаве, Пулкове, Казани, Москве, Иркутске, Благовещенске и Китабе. А совсем недавно, в 1957 году, в службу широты включилась китайская наблюдательная станция, расположенная на берегу Великого китайского канала близ Тяньцзиня.

Свыше пятидесяти лет работает Международная служба широты. Теперь уже ни у кого из ученых не вызывает сомнений, что широта любого места на нашей планете со временем становится другой.

Вот так «надежный» адрес! Выходит, что мы, сами того не подозревая, все время переезжаем, или, вернее, такой «переезд» совершают параллели, от которых мы ведем счет широт.

Кто же передвигает невидимые нитки параллелей? Оказывается, всему причиной непоседа-полюс.

Это было удивительное открытие: полюс — математическая условная точка — совершает настоящие путешествия! Кончик несуществующей земной оси вычерчивает на поверхности планеты причудливую кривую, похожую на небрежный рисунок тросточкой по песку. Он движется в том же направлении, в каком вращается Земля, описывая запутанную то закручивающуюся, то раскручивающуюся спираль.

Бывают годы, когда полюс почти неподвижен. А временами, словно обуреваемый жаждой приключений путешественник, полюс как бы стремится наверстать упущенное. Но обычно

дальше чем на 10 метров он не удаляется от места, где должен бы постоянно находиться. Не мудрено, что такую крохотную величину обнаружили только, когда астрономические наблюдения достигли чрезвычайно высокой точности.

Но вот в 1952 году полюс неожиданно забрался еще дальше: спираль, описанная им, не уместилась в рамках старого квадрата, размером 20×20 метров, который служил для него неизменной границей в течение половины столетия. На этот раз каждую из сторон «пограничного» квадрата пришлось увеличить еще на 6 метров.

Такие же сложные вензеля описывает и южный конец земной оси, возвращаясь по истечении некоторого срока к исходному положению. Но год от году, как установлено известным нашим специалистом по движению полюсов А. Я. Орловым, эти точки не совпадают: полюс все дальше уходит с того места, откуда начал когда-то свое путешествие, — он как бы медленно дрейфует в сторону 69-го меридиана, «отплывая» примерно на 12,5 сантиметра в год.

Когда-то ученые условились считать осью Земли прямую линию, проходящую через ее центр. Затем они провели поперечную плоскость и линию пересечения ее с поверхностью Земли назвали экватором. Это была твердая, раз и навсегда установленная система, костяк, на основе которого создана вся градусная сетка. Теперь из-за того, что Земля «болталась» на земной оси, вся координатная сетка как бы сдвигалась.

Что же заставляет «качаться» земной шар?

Вращая в лаборатории различные тела, ученые убедились, что они обязательно начинают покачиваться, если ось, вокруг которой их поворачивают, не совпадает с геометрической.

В таком положении любой предмет все время как бы теряет равновесие на какое-то мгновение и снова находит его, стремясь расположиться поудобнее, выпрямиться и начать вращаться вокруг оси, которая делила бы его симметрично. От этих качаний и движутся, путешествуют по поверхности тела его «полюсы».

Неужели такая же история случилась и с нашей Землей? Ответ на этот вопрос получили, когда удалось распутать извилистую кривую, вычерчиваемую полюсом на земной поверхности.

И тут обнаружились новые неожиданности.

Математические расчеты утверждали, что полюс будет путешествовать даже на правильном эллипсоиде, каким считали Землю. Причина этого — лишние утолщения вдоль экватора, образовавшиеся из-за сплющенности планеты. Но когда расшифровали следы полюса, оказалось, что он движется по

овалу, а не по кругу, как это должно было быть на совершенно правильном эллипсоиде.

Было похоже, что где-то с боку нашей планеты подвешена добавочная «гора» — излишек массы, из-за которой ее ось вращения описывает более сложную кривую. Правда, путь полюса настолько незначительно отличался от круга, что обнаружить это было делом величайшей трудности. Ученые потрудились немало. Большая заслуга в этом известного русского астронома А. Я. Орлова. Тщательно изучив маршрут полюса по изменениям широты Полтавы за многие годы, А. Я. Орлов убедился, что земной эллипсоид действительно неправильный.

В задачниках на последних страницах, где приводятся ответы на решения, можно увидеть иногда значок $\approx$. Это значит, что ответ приблизительный. Так же приблизительно решили задачу о форме Земли ученые, доказавшие, что она сплюснута с полюсов. Самое любопытное, что те, кто утверждал, будто Земля сдавлена с боков, были не совсем неправы. Земля оказалась сжатой не только с полюсов, но — в каких-то местах — и с экватора.

По направлению, в котором вытянут путь полюса, удалось установить, где находятся сплюснутые, а где выпуклые части — своеобразные «скулы» планеты.

Радиусы экватора, упирающиеся в 15-й меридиан восточного полушария и противоположный ему — 165-й в западном полушарии, оказались примерно метров на 200 длиннее тех, которые заканчиваются на 105-м и, соответственно, 75-м меридианах. Индонезия и Перу, таким образом, несколько вдавлены, а Африка и центр Тихого океана находятся как бы на горбах.

Получалось, что у Земли не две отличающиеся по длине оси — полярная и экваториальная, а три: полярная и две экваториальных. Поэтому земной шар стали называть трехосным эллипсоидом.

В отличие от осей часового механизма земная ось не закреплена подшипниками и не заключена в футляр. На нее воздействуют разные силы. Наша планета живет: дышит, содрогается. Скандинавский полуостров вместе с городами и жителями поднимается год от году все выше, а побережье Дании и Голландии уходит под воду — материковые глыбы движутся. А мощные невидимые процессы в недрах Земли, отголоски которых мы слышим в реве вырывающейся из вулканических жерл лавы, наблюдаем во время страшных моретрясений? Может ли это пройти бесследно, не сказаться на облике нашей планеты? Такие мощные перемещения масс, вероятно, и сдвигают земной шар с оси.

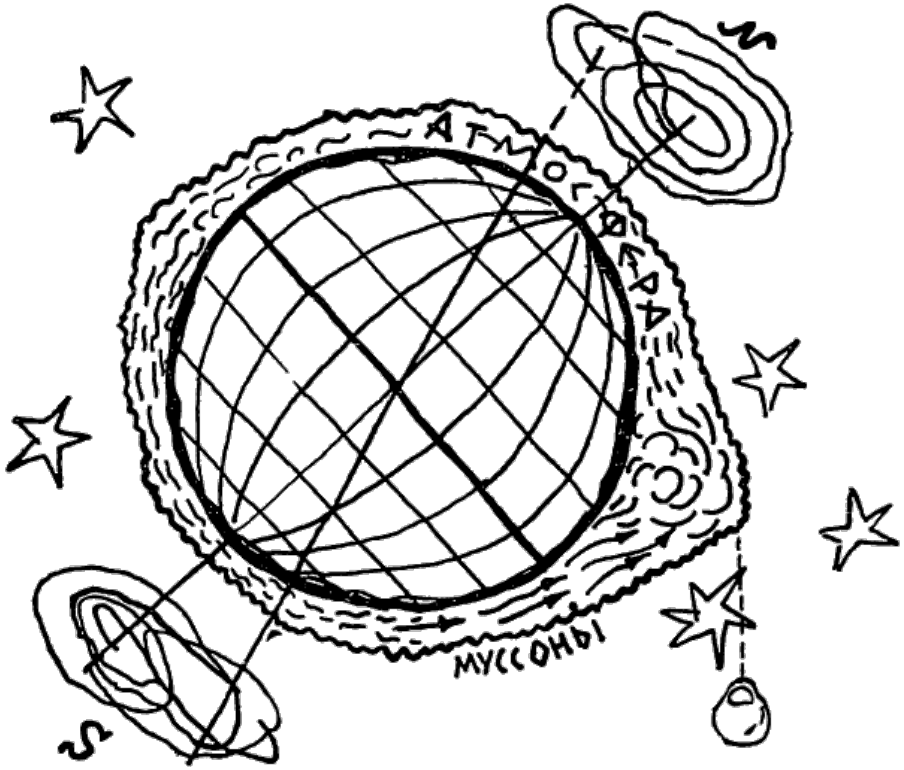
Колоссальные массы постоянно перемещаются и по поверхности нашей планеты, хотя они и сложены, казалось бы, из почти невесомых частичек. Мы сталкиваемся с этими явлениями каждый день, но не задумываемся совсем о том, какое отношение имеют они к движению Земли.

Сколько весит, например, дождевая капля или зеленый лист? Какие-то доли грамма. А сколько весят все дождевые капли, выпавшие, скажем, во время осенних дождей, или вся зеленая листва, покрывающая весной наши леса и поля? Когда ученые занялись такими подсчетами, оказалось, что не столь уж мало.

Английский геофизик Г. Джефрис стал считать, сколько воды приносят в океан течения, много ли каждый год вырастает на земном шаре травы и листьев, выпадает снега. Он даже вычислил, сколько весит… ветер. И первый же ориентировочный подсчет убедил, что сезонных перемещений этих «гирь», давящих на земную поверхность, достаточно, чтобы раскачать, сдвинуть Землю с оси. Ведь только реки в течение года смывают с поверхности материков около 31 кубического километра пород. Эти нагрузки на поверхность волчка-Земли вызывают дополнительные колебания, и путь полюса делается еще более извилистым и путаным.

Совсем недавно советский ученый Н. Бызова проверила и уточнила вывод Г. Джефриса. Выяснилось, что Землю колеблет на оси главным образом ветер. Например, муссон, дующий зимой с Тихого океана на Азиатский материк, переносит громадные массы воздуха. По самым грубым подсчетам, только над Сибирью скапливается зимой около 15 миллиардов тонн лишнего воздуха. Летом воздушная шапка рассасывается, стекая вновь к океану.

Существует предположение, что вес этих «воздушных гирь» зависит от… Солнца. Недаром замечено, что в годы, когда Солнце изливало на Землю больше тепла, путешествие полюса было особенно «размашистым». Ведь в прогретой воздушной оболочке Земли возникают более сильные ветры. И наоборот, когда Солнце «успокаивалось», полюс двигался медленнее.



Сейчас все больше склоняются к «ветровому» объяснению путешествия полюсов. Во всяком случае эту точку зрения высказало большинство крупнейших ученых мира на проходившем в 1958 году X Международном астрономическом съезде в Москве. На съезде работала специальная комиссия, рассматривавшая современное изменение широт и перемещение полюсов по поверхности нашей планеты. Решено было продолжить наблюдения за путешествиями полюса. Одновременно ведется определение новых широт многих точек на земном шаре, которое начато во время Международного геофизического года.

Открытие того факта, что экватор сплюснут, явилось в свое время переломной вехой во взглядах на точную форму нашей планеты. Последний круг, который еще оставался на сжатой Земле — экватор, — и тот оказался эллипсом. А коварная планета, которая словно никак не хотела, чтобы люди, живущие на ней, узнали ее истинную форму, уже готовила новый сюрприз.

Часы, которые растянули Землю

Удивительные истории случаются не только с героями приключенческих книг. Не менее фантастической оказывается нередко и судьба научных открытий. Возьмите хотя бы этот случай с ожившей математической точкой — полюсом.

Но история с полюсом — сущий пустяк по сравнению с тем, какую «шутку» сыграли с учеными лет десять-пятнадцать назад кварцевые часы.

С часами у ученых были свои счеты. Они не могли забыть, как точнейшие маятниковые часы неожиданно оказались самыми изменчивыми. Астрономы с удовольствием отказались бы от этих неудобных часов, если бы не надо было переводить астрономическое время на земной язык.

Давно прошли времена, когда находились скептики, сомневавшиеся в том, что Земля вертится. Теперь все знают, что земной шар непрерывно поворачивается вокруг своей оси и делает это с идеальной аккуратностью. Во всяком случае так считалось до сих пор. Каждый оборот и служит нам мерилом времени. Ведь это и есть наши сутки.

В разных концах земного шара астрономы на специальных станциях службы времени неустанно следят за движением Земли — этих самых точных природных часов: обернулась Земля один раз — прошли сутки, обернулась другой — вторые. Следят по «небесным часам», у которых стрелка — Луна, а отметки на циферблате — звезды. Правда, эти часы своеобразны. Пока Луна один раз обойдет свой звездный циферблат, Земля успеет обернуться вокруг оси 27 раз. К тому же, Луна движется не по кругу, а по сложному пути — попробуй определить точное время по такой стрелке.

Вот почему для повседневного измерения «хода» Земли употребляют механические часы. Маятник часов качается. И движения эти очень равномерны: качнулся маятник один раз — прошла секунда, качнулся второй раз — другая. Качнулся 86 400 раз — прошли сутки. Земля обернулась вокруг оси.

Точнейшие часы на обсерваториях, как говорят, «хранят» время. А это не так-то просто. От толчка или сотрясения маятник может начать двигаться чуть быстрее или чуть медленнее. И тогда наши обычные часы, которые мы ставим и проверяем по сигналам, передаваемым из обсерваторий, тоже будут показывать неправильное время.

Чтобы этого не случилось, часы, хранящие время, устанавливают в глубоком подвале, куда не долетает ни один звук и где ни зимой, ни летом даже на полградуса не меняется температура. В нерушимом спокойствии и одиночестве пребывают эти верные стражи времени в своем подземном

жилище.

Они никогда не отдыхают. Бесстрастные и неутомимые, со скрупулезной точностью день за днем отсчитывают они время, необходимое Земле, чтобы повернуться вокруг оси.

И все-таки, как мы знаем, ошибаются. Ведь сама сила тяжести, которая движет маятник, непостоянна повсюду на земном шаре. Конечно, такие отклонения от правильного хода могут быть незначительными, но в астрономических вычислениях важны и ничтожные величины. Поэтому ученые стремились изобрести такие часы, ход которых не зависел бы от всякого рода случайных причин.

Это удалось осуществить, когда физики предложили отсчитывать колебания не маятника, а кварцевой пластинки. Переменный электрический ток, пропущенный через пластинку, вырезанную из кварца, заставляет ее вибрировать. Вибрации эти отличаются большим постоянством. Обычно таких колебаний совершается до 60 тысяч в секунду.

Изобретатели кварцевых часов и не подозревали, какой сюрприз те преподнесут астрономам. Еще меньше предполагали это сами астрономы. Они были очень рады новому точному прибору. И в подземельях обсерваторий рядом с классическими маятниковыми часами расположились их молодые собратья.

Первыми, кто заметил, что со временем творится что-то неладное, были немецкие астрономы Павéл и Уинк. Наблюдая за кварцевыми часами Потсдамского геодезического института и сверяя их показания с движением Земли, они обнаружили, что осенью часы вдруг начали отставать, к зиме их ход выравнялся, а весной они неожиданно стали уходить вперед. Летом же, как и зимой, часы шли нормально.

Правда, изменения были ничтожно малы. Но ученых взволновало это явление. Принято думать, что астрономов интересуют величины только космических масштабов. На самом деле им, пожалуй, чаще приходится иметь дело с крошечными величинами. Вот почему немецкие астрономы не прошли мимо этого в буквальном смысле слова малозаметного факта.

Ученые — люди осторожные. И они прежде всего заподозрили ошибку в наблюдениях — ведь маятниковые часы в течение этого же времени шли как будто бы равномерно. Однако в следующем году подобный же каприз был обнаружен у кварцевых часов Парижской службы времени. Вряд ли это уже было простой случайностью. А вскоре оказалось, что и часы Вашингтонской службы времени осенью идут медленнее, а весной быстрее.

В 1950 году этот вопрос обсуждался в Париже на

Международном совещании по постоянным величинам. Английский астроном Спенсер Джонс сообщил, что и на Гринвичской обсерватории, известной большой точностью наблюдений, кварцевые часы осенью и весной идут неровно.

Проблема приобретала все большую остроту. Попробовали проверить кварцевые часы. Тщательные исследования показали, что равномерных колебаний «кварцевого электричества» ничто не может нарушить. Да и тот факт, что все кварцевые часы на земном шаре имели совершенно одинаковые отклонения, убеждал, что причина лежит вне самих часов.

И тогда ученые пришли к поразительному выводу: не часы отстают осенью и уходят вперед весной, а Земля вращается в течение года то быстрее, то медленнее, расходясь в своем ходе с ходом часов.

Как ни кажется невероятным, это действительно так. Ныне доказано, что наша Земля вращается неравномерно: всего быстрее она движется в августе, а всего медленнее в марте — апреле. И, значит, наши сутки непостоянны. Осенью они меньше, чем весной, хотя разница и не превышает сотых долей секунды.

Часы, созданные руками человека, оказались точнее природных — самой Земли. А Земля — далеко не таким точным «механизмом», каким представлялась раньше. Выяснилось, что она вращается неравномерно не только в течение года, но и на протяжении веков. Когда-то она крутилась быстрее, чем теперь. Из-за этого сутки за последние две тысяча лет удлиняются почти на 0,002 секунды в столетие.

Кроме того, случается, что в некоторые годы скорость Земли неожиданно резко увеличивается, а в иные — уменьшается гораздо больше, чем ежегодно весной и осенью. Эти «скачки» происходят через неравные промежутки и не подчиняются никакой видимой закономерности.

Но, вы помните, еще Ньютон говорил, что наша Земля потому и сжата, что она вращается. А позже было доказано, что такую форму, как сейчас, наша планета будет сохранять только при вполне определенной скорости вращения. При скорости, так сказать, в пределах нормы сжатый эллипсоид находится в устойчивом равновесии. Другими словами, если какие-то силы со стороны, из космоса — например, ближайшие планеты или Луна — вздумают растянуть земной шар, то изменят его форму ненадолго. Как только они его «отпустят», земная поверхность, подобно пружине, примет прежний вид.

Но если скорость вращения станет увеличиваться, то центробежная сила на экваторе тоже будет становиться все больше. Она еще сильнее растянет Землю в поперечном

направлении — наша планета заметнее сплющится, а ее экваториальный радиус удлинится.

Ученые подсчитали, что если бы Земля стала обращаться вокруг оси не за 24 часа, а за 1 час 25 минут, то есть ее скорость увеличилась бы в 17 раз, то центробежная сила возросла бы в 289 раз и уравновесила силу тяжести. (Ведь сейчас она, как уже говорилось вначале, равна на экваторе именно $^1/_{289}$ силы тяжести.) Тяжесть не удерживала бы больше частиц Земли, и оказалось бы достаточно самого легкого воздействия на нашу планету со стороны, чтобы она разрушилась.

Больше того, уже при периоде вращения, меньшем 2 часов 39 минут, Земля не сможет сохранить форму эллипсоида. Однако эти расчеты чисто теоретические, и такое катастрофическое увеличение скорости нашей планете не грозит. При существующем ритме вращения земной шар обладает громадным запасом прочности. Наблюдаемые повышения скорости совершенно безвредны для него.

А к чему может привести замедление оборотов? Но прежде чем ответить на этот вопрос, попробуем выяснить, что и насколько тормозит Землю.

Существование таинственного земного тормоза предполагал еще Кант. Он считал, что Землю тормозят морские приливы — вернее, трение приливной волны о земную поверхность. Но вплотную занялись этим исследованием лишь недавно. Свои соображения о причине торможения Земли высказывали ученые разных стран и разных специальностей. Всемирную известность снискали работы в этой области наших отечественных исследователей — в особенности геофизика Николая Николаевича Парийского.

Чтобы ответить на вопрос, что же именно тормозит Землю, астрономам и геофизикам пришлось на время стать математиками и механиками. Они как бы поместили земной шар в лабораторию и принялись тщательно исследовать взаимодействие всех деталей этого громадного и сложного механизма, устройство которого вдобавок ко всему еще не совсем ясно.

Исследователи Земли соорудили несколько различных моделей земного шара и окружающей его атмосферы. Только модели эти не напоминали обычные механические модели. Они были «построены» на бумаге чернильным пером и состояли из столбцов цифр и рядов формул. И ученые принялись изучать эти цифры.

Н. Н. Парийский считает, что изменить скорость планеты так, как это бывает во время непредвиденных «скачков», мог бы только

миллион метеоритов, весом по миллиону тонн каждый, если бы они вдруг все сразу упали в районе экватора. Или если в результате какой-то невероятной катастрофы плоскогорье вроде Тибетского, площадью около полумиллиона квадратных километров и высотой в четыре километра, неожиданно расплющилось до уровня моря. Или, на худой конец, если все пассаты, которые, как известно, всегда дуют к экватору, вдруг переменили бы свое направление и погнали массу воздуха к полюсам.

Как видите, торможение нашей планеты не столь уж микроскопическое, раз для этого требуются такие гигантские усилия.

Но, разумеется, подобного рода события не могли бы остаться незамеченными. Поэтому сейчас большинство ученых считает, что причина «незакономерных» скачков в скорости вращения Земли кроется внутри самой планеты.

Советские ученые придерживаются мнения, что эти перебои в «часовом механизме» природы могут быть следствием перекристаллизации глубинных пород. Наши специалисты подсчитали, что если подобный процесс будет происходить на глубине около 80 километров, то достаточно плотности внутренних слоев Земли измениться в результате перекристаллизации на $^1/_{10}$ долю, и это уже вызовет заметный скачок в скорости ее вращения.

Самое же интересное, что это изменение плотности пород, несмотря на то, что оно происходит на огромной глубине, можно обнаружить на поверхности Земли по изменившейся силе тяжести.

В Институте физики Земли Академии наук СССР наблюдения за такими колебаниями силы тяжести уже ведутся. Особенно интенсивно проводили эти исследования во время Международного геофизического года. Когда результаты их будут обработаны, станет возможным судить, насколько справедливо это предположение.

Что же касается весенних и осенних изменений в скорости, то, судя по всему, Землю в первом случае тормозит, а во втором — «подталкивает»… ветер. Те самые воздушные гири весом в миллиарды тонн, которые «сдвигают» Землю с оси, заставляя путешествовать полюс. Они нарушают ритмичную работу всего земного механизма, изменяя «нагрузки», которые приходятся на различные его «детали».

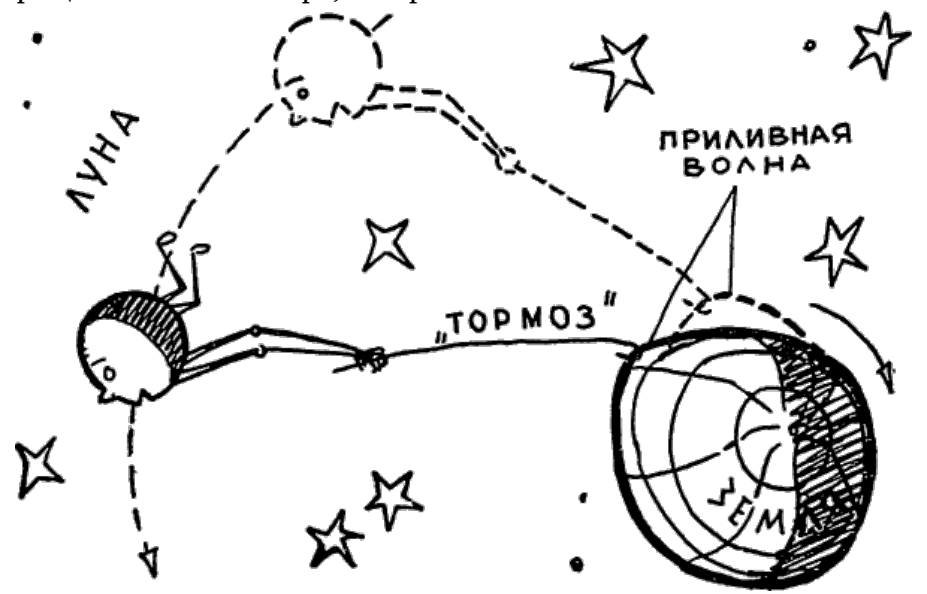
Но ведь есть еще какой-то тайный тормоз, действующий постоянно в течение веков?

Когда начались его поиски, первое подозрение пало на

малоизученный ледяной материк. «А может быть, и в самом деле виной всему Антарктида?» — подумали ученые. Ведь миллионнотонный ледовый панцирь шестого материка должен оказывать огромное влияние на земной механизм. Если бы он растаял, уровень всех океанов поднялся бы метров на 50. А если ледники Антарктиды, наоборот, начнут увеличиваться? Достаточно им вырасти за столетие всего на 3,2 метра, и их возросшая тяжесть оправдала бы вековое торможение Земли.

Однако наблюдения ученых, работающих сейчас на шестом материке, говорят скорее об общем таянии ледников Антарктиды, чем об их увеличении.

Сейчас ученые сходятся на том, что Землю тормозит ее спутница по небу — Луна и наше светило — Солнце. Вызываемые ими приливы набегают навстречу вращению Земли и замедляют вращение земного шара, говорят они.



Но пусть природа самого тормоза еще не вполне ясна, он действует уже не одно тысячелетие. И хотя колебания скорости сами по себе незначительны, накапливаясь в течение многих сотен лет, они заметно увеличили длину суток.

Подсчитано, что только с архейской эры наши сутки стали длиннее на 4 часа. Это значит, что 3 миллиарда лет назад Земля поворачивалась вокруг себя всего за 20, а не за 24 часа, как сейчас. Замедлив свой ход, Земля «распрямилась» за это время примерно на 44 километра.

Рассуждая теоретически, можно сказать, что скорость вращения Земли будет замедляться до тех пор, пока время обращения ее вокруг оси не станет вначале равным лунному месяцу. А потом не сравняется с продолжительностью движения

земного шара вокруг Солнца, то есть пока земные сутки не станут равными году. Это подтверждается наблюдениями за другими планетами нашей солнечной системы. Так, Меркурий, по-видимому, уже вступил в полосу «равновесия»: и «сутки» и «год» на этой планете длятся 88 земных суток.

Вращению Земли и связанному с ним определению точного времени была посвящена специальная дискуссия на том же Международном астрономическом съезде, где обсуждалось и путешествие полюсов. По последним сведениям, приливная волна действительно укорачивает земные сутки на полтысячную долю секунды за 100 лет. А воздушная гиря способна вносить изменения в 10 раз большие, но периодические.

И ту и другую микроскопическую величину приходится учитывать хранителям точного времени. Для этого они пользуются сейчас новым, еще более надежным инструментом — атомными и молекулярными часами. В молекулярных часах время отсчитывается по колебаниям атомов в молекуле аммиака. Эти колебания совершаются 23 870 миллионов раз в секунду. А наблюдают их по изменениям, которые они вносят в спектр аммиака. Атомные часы «устроены» иначе. В них время определяется частотой, с которой перескакивают электроны с одного уровня на другой внутри атома цезия. «Наблюдают» этот перескок также по спектрограмме.

Из-за постепенного «удлинения» Земли меняется уже сложившаяся ее форма. Но планета наша не является чем-то жестким и монолитным и затормаживается неодинаково. В первую очередь тормозится земная кора. А внутренние, глубинные, слои немного отстают от верхних, двигаясь некоторое время по инерции с прежней скоростью.

Далее: разные точки земной поверхности вращаются с разной скоростью. Быстрее всего движутся расположенные на экваторе — они проходят в среднем 28 километров в минуту. А чем ближе к полюсам, тем медленнее их передвижение. На широте Москвы, например, они успевают за одну минуту продвинуться всего километров на 15. Они и тормозятся по-разному. Поэтому, если бы меридианы были нанесены на поверхности Земли наподобие градусной сетки на карте, они постепенно искривились бы. Около самого экватора эти линии шли бы еще прямо с севера на юг, но в северном полушарии загибались к северо-востоку, а в южном — к юго-востоку.

Как же по такой кривой градусной сетке определять точную фигуру Земли? Да и какую фигуру стали бы теперь определять геодезисты? Ведь даже и от представления о трехосном земном эллипсоиде пришлось отказаться. Действительная Земля

оказалась по очертаниям еще более сложной и меньше всего походила на правильное геометрическое тело.

Все больше убеждались ученые, что форма нашей планеты неправильная и зависит от того, как распределены на Земле различные по тяжести массы.

Земля имеет форму Земли

Мы говорим, что высота Джомолунгмы (Эвереста) 8882 метра над уровнем моря, а Москва лежит выше уровня моря только на 120 метров. Какое море при этом имеется в виду?

Зеркало Черного моря, например, ниже Балтийского. А уровень этого последнего, в свою очередь, ниже Белого моря и выше уровня Тихого океана. Тихий же океан возвышается над Атлантическим.

Если говорить строго, так и одно и то же море не всегда находится на одинаковом уровне. На Балтике, в Кронштадте, вода осенью — в период дождей — всегда стоит выше, чем зимой или весной. Подобное явление наблюдается и на Черном море. Здесь летом воды больше, чем осенью. Замечено, что Атлантический океан у берегов Мексиканского залива наклонен к востоку, а кроме того, тот же Атлантический и Тихий океаны приподняты с севера и «текут» на юг. Балтийское же море наклонено, наоборот, на север, и на южном побережье его уровень выше.

Как же считать высоту от такого непостоянного основания?

Оказывается, говоря «высота над уровнем моря», имеют в виду вовсе не то или иное конкретное море, а некий средний уровень Мирового океана. Если поверхность совершенно спокойного «среднего» океана мысленно продолжить под материками, то эта воображаемая поверхность и образует тот уровень, от которого отсчитываются высоты любых точек на земном шаре.

Вот тут мы и подошли к понятию геоида.

Когда выяснилось, что наша Земля не похожа ни на простой, ни на трехосный эллипсоид и стало ясно, что земной шар вообще не является правильным геометрическим телом, пришлось придумывать какой-то новый способ измерения неправильной бугристой Земли.

Но прежде надо было выяснить: что считать поверхностью планеты — землю или воду? Самой земли здесь не так уж много. Лишь четвертую часть всей поверхности занимает выступающая

из воды суша. А намного ли она возвышается над уровнем океана? Даже самые высокие горы — ничтожные песчинки на лике громадной планеты. В среднем материки выше океана всего на тысячную долю земного радиуса. Океаны же и моря, сообщаясь друг с другом, образуют почти сплошную водную гладь.

Это и навело на мысль, что Землю в первом приближении можно представить состоящей из одних океанов. Поверхность среднего океана, как бы ограничивающая собой Землю, и была названа геоидом.

Слово это специально придумано учеными для обозначения фигуры Земли. Его предложил известный немецкий физик и астроном И. Листинг. Никакого геометрического смысла оно не имеет. Буквально это значит: тело, имеющее форму Земли. Поэтому, если вы попросите назвать какую-нибудь геометрическую фигуру, похожую на геоид, вы услышите в ответ, что в геометрии не существует такой. Ближе всего к ней подходит только наша Земля, представляющая собой неправильное тело очень сложных очертаний.

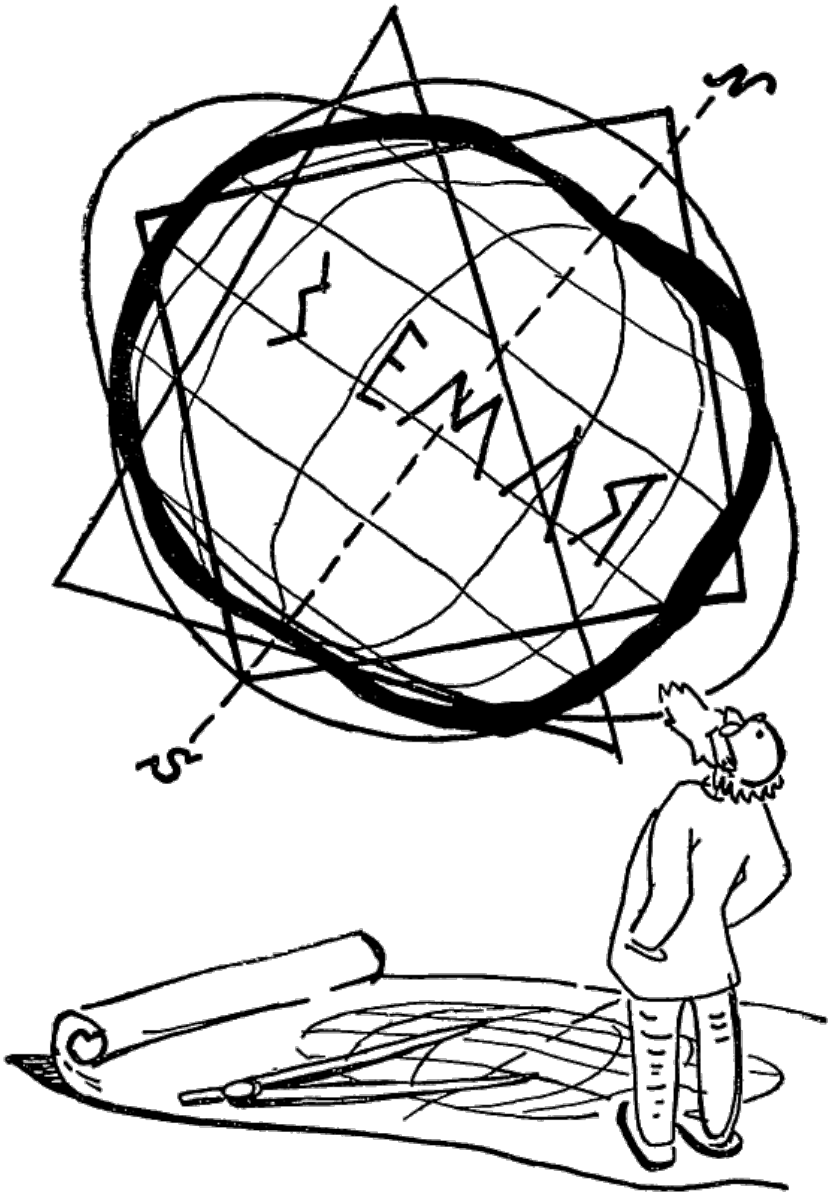
Единственный «твердый» признак, которым можно охарактеризовать геоид, заключается в том, что направление силы тяжести в любой его точке должно быть перпендикулярно его поверхности. Вот все, что про него известно.

Мы уже встречались с геометрическими линиями и точками, которые вдруг начали приобретать физические свойства. Геоид — это нечто прямо противоположное. Не имея никакого подобия в геометрии, он обладает вполне определенными физическими свойствами: форма его воображаемой поверхности зависит от распределения на ней силы тяжести.

Свободная поверхность морей и океанов состоит из подвижных частичек воды, и ее вид определяется силой тяжести, под действием которой каждая такая частичка стремится занять ближайшее к центру Земли положение. Земное тяготение как бы натягивает невидимые ниточки, на которых висят капельки в море. В итоге поверхность моря в любой точке становится перпендикулярной к направлению силы тяжести в них.

Раз форму Мировому океану придает сила тяжести, то, измеряя ее величину и направление, можно определить вид этой поверхности, а тем самым и почти точную фигуру нашей планеты. Так, в исследование фигуры Земли включилась еще одна наука — гравиметрия, измеряющая силу тяжести на Земле.

Поначалу казалось, что определить геоид не очень сложно. Стоит только найти закон, подчиняясь которому распределяется на поверхности геоида сила тяжести.



Теперь уже никто не сомневался, что вес одних и тех же предметов в разных местах Земли может быть различным. Все знали, что сила тяжести больше всего на полюсе, а чем ближе к экватору, тем она становится меньше. Если удастся определить, насколько она меняется с широтой, то силу тяжести в разных точках земного шара можно будет вычислять прямо по ее координатам, и, значит, без труда окажется найденной форма геоида.

Но неожиданно обнаружились довольно странные вещи.

Казалось бы, на морях геоид будет совпадать с поверхностью

воды, а продолженный на материки — проходить где-то внутри них. Во всяком случае так должен был себя вести теоретический геоид. Но ученых подстерегал очередной сюрприз.

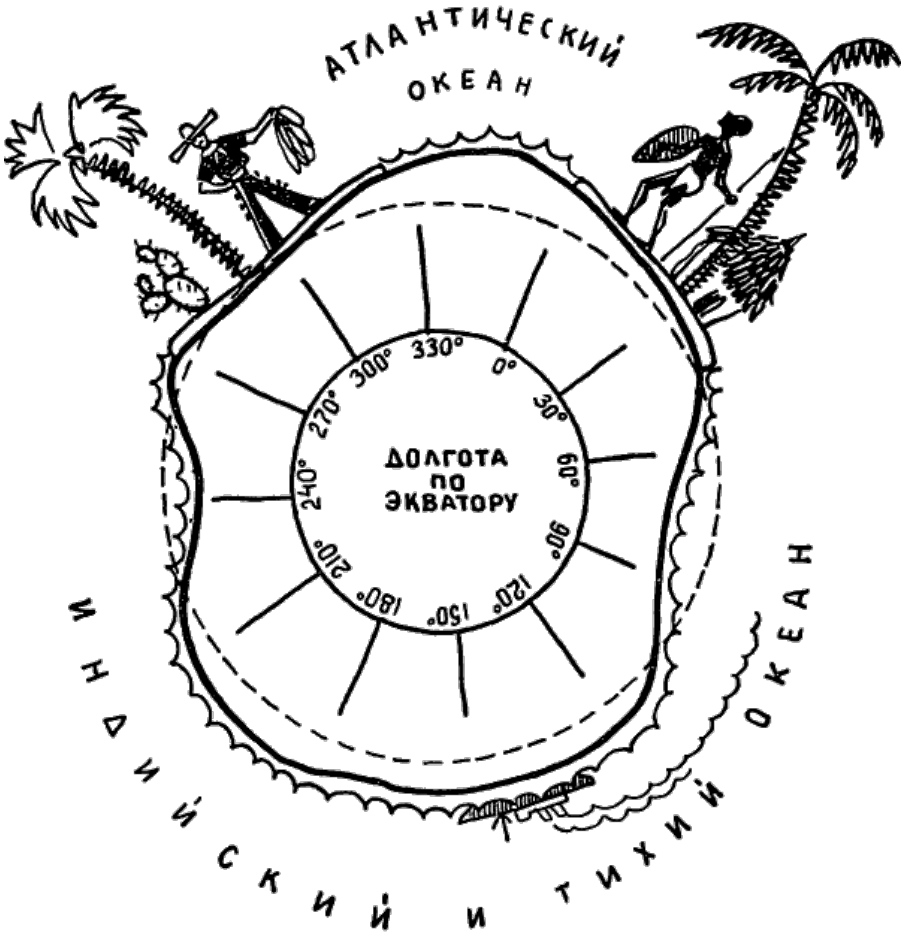
Измерив с большой точностью силу тяжести в окрестностях Москвы, русские гравиметристы обнаружили, что подо всем городом, от самого Кремля и дальше в Замоскворечье, тянется какая-то очень легкая полоса. Исследованием ее занялись виднейшие ученые.

Известный астроном П. К. Штернберг, несмотря на начавшуюся мировую войну, сам ездил измерять силу тяжести в Подольск, Киёво, Узкое и другие подмосковные места, пересекающие загадочную пустоту в поперечном направлении. Эти исследования подтвердили, что в окрестностях Москвы сила тяжести заметно меньше обычной: с запада на восток через село Коломенское тянулась какая-то непонятно легкая полоса. Получалось, что в этом месте на «ровном» геоиде находится довольно большая впадина.

Столь же неровной оказалась сила тяжести и в других, самых неожиданных местах.

Теперь установлено, что на Земле есть два больших возвышения и два таких же крупных понижения геоида. В Европе и на Тихом океане геоид поднимается «бугром». А Индия и Америка лежат в «низине».

Если разрезать земной шар по экватору и посмотреть на его профиль, то окажется, что в Западной Европе геоид изогнулся небольшим бугром, который постепенно понижается, а, начиная примерно с меридиана Москвы, поверхность геоида ныряет на 140 метров вниз. Эта впадина тянется через всю Сибирь до Иркутска. Дальше на восток геоид опять начинает повышаться, и на 180-м меридиане посреди Тихого океана очередной холм достигает почти 100 метров высоты. Вблизи западных берегов Северной Америки — опять 75-метровая «яма», а потом «холм», поднимающийся на 125 метров, после чего снова понижение.



Такие повышения и понижения как бы опоясывают невидимыми волнами земной шар. А чуть меньшие волны тянутся между полюсами. «Ровный» геоид в действительности весь изрыт «буграми» и «ямами».

Сейчас составлена очень приблизительная, разумеется, карта высот геоида.

На первый взгляд может показаться странным: как же удалось начертить то, что не имеет строгой формы? На такой карте вы и не найдете невидимку-геоид. Это просто обыкновенная карта полушарий, на которой причудливо изогнулись цветные линии. Там, где вьется красная полоса — «бугры» геоида, где извиваются зеленые линии — его «впадины».

Когда говорят о «впадинах» и «буграх» геоида, это не значит, что речь идет о горах или оврагах на земной поверхности. В окрестностях Москвы, скажем, там, где на геоиде значительная «вмятина», нет ни достаточно глубоких оврагов, ни гор. И на север и на юг здесь тянется совершенно гладкая равнина. «Впадины» и «бугры» эти так же невидимы, как и сам геоид. И

лишь если бы удалось соединить каналом московскую равнину с океаном, то уровень воды под Москвой установился бы ниже, чем к северу и к югу от нее. Вот эти воображаемые водяные бугры и ямы и есть волны геоида.

Форма действительного геоида оказалась, таким образом, очень сложной.

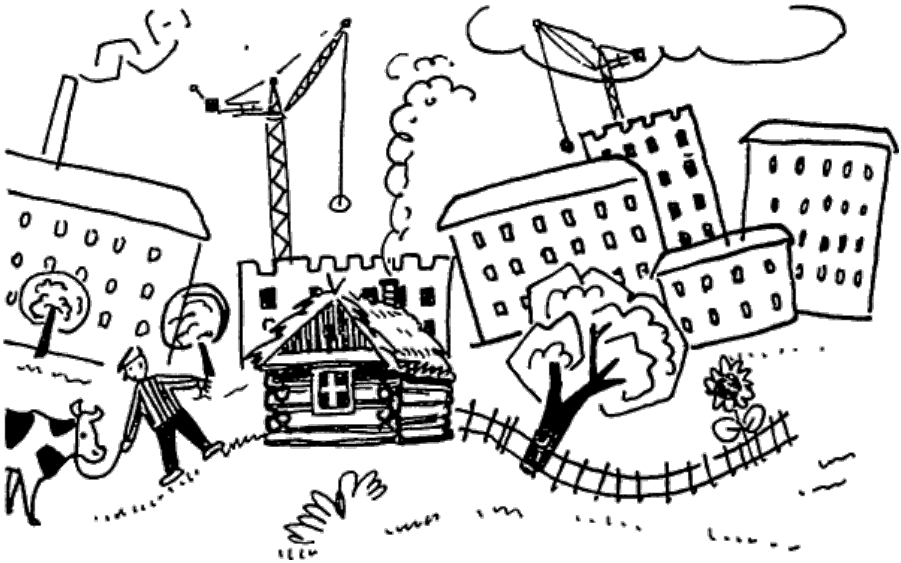
Чем же это объяснить?

Сложным строением коры и земных глубин. Дело в том, что внутренность Земли очень неоднородна. В глубинах ее находятся и тяжелые и легкие слои. Земная кора, лежащая под ней оболочка и ядро имеют разную плотность и, значит, по-разному притягивают частички воды в океане.

Было бы еще полбеды, если бы слои располагались внутри земного шара достаточно равномерно — каждый слой, допустим, одинаковой толщины и на равном расстоянии от центра Земли. Но в действительности земная кора местами стелется тонким слоем, а местами слагающие ее массы скапливаются огромными, тяжеленными глыбами. Распределение тяжелых и легких масс внутри Земли и влияет на форму геоида.

Встретившись с каким-нибудь новым явлением, ученые стремятся открыть закон, которому оно подчиняется. Естественно, что и тут показалось соблазнительным отыскать какое-то правило, повинуясь которому массы разной плотности распределяются внутри Земли и на ее поверхности.

Вначале думали, что строение земных глубин должно как-то соответствовать главным неровностям в строении земной поверхности. Сам собой напрашивался вывод, что тяжелые глыбы континентов уравновешиваются более легкими породами внутри земного шара, а легкие воды океана — тяжелыми подстилающими слоями. Только так, казалось, и может соблюдаться общее равновесие земной коры.



Но хотя наблюдения и подтвердили, что такое соотношение действительно есть, оно проявляется далеко не везде. Тяжелая континентальная Индия, например, или не менее тяжелые Памир, Индонезия, Кавказ, Урал расположены вовсе не на «облегченной подкладке».

Наверняка предсказать, где можно ожидать поднятие, а где понижение геоида, удается поэтому с трудом. Более или менее удачно получается это в горной и вообще сильно пересеченной местности. Горы почти всегда вызывают небольшие в длину, но довольно глубокие волны тяжести. Кавказский хребет, скажем, образует на поверхности геоида 30-метровый «бугор».

Такие же волны, как и возле горы с ее избытком тяжести, только обращенные гребнем вниз, возникают и в районе глубоких впадин, в которых наблюдается нехватка земных масс. Озеро Байкал — узкая глубокая «щель» длиной примерно в 600 километров — создает почти такую же по величине волну тяжести, как и громадный Кавказский хребет. Поэтому мы можем считать, что в сильно изрезанных районах сила тяжести действительно большей частью зависит от рельефа.

Но как же угадать, где расположатся «бугры» и «ямы» геоида, возникающие среди совершенно гладких равнинных мест и не проявляющиеся внешне, как, например, под Москвой? Ведь здесь рельеф не имеет видимой связи со строением внутренних масс.

Помочь могут только непосредственные измерения этих волн на всей поверхности Земли. Чтобы составить хотя бы примерное представление о геоиде, узнать его форму в самых общих чертах, надо произвести десятки и сотни тысяч взвешиваний!

Перед геодезистами встали совершенно новые задачи.

Оказалось, что неровный геоид нельзя вычислить. Его можно только практически измерить, обойдя весь земной шар. И геодезисты принялись за такие измерения, вооружившись не только «линейкой», но на этот раз и «гирей».

По волнам невидимого океана

Последние наблюдения силы тяжести в окрестностях Москвы Петр Карлович Штернберг проводил 4 ноября 1917 года — в канун Великой Октябрьской социалистической революции. А через несколько дней заслуженный профессор астрономии Московского университета и директор обсерватории, интересовавшийся всю свою жизнь, казалось, только небесными делами, командовал орудийным расчетом.

Мирная обсерватория на Пресне оказалась хранилищем оружия рабочих, а революционные деятели, прославившиеся еще во время революционных событий 1905 года и известные под партийными кличками «Лунный», «Эрот», «Владимир Николаевич», — почтенным седовласым астрономом П. К. Штернбергом, членом партии с 1905 года.

Революция и затем гражданская война прервали исследование московской аномалии силы тяжести, которое он так успешно проводил. Но эти наблюдения, выполненные в пылу военных сражений, положили начало гравиметрическим работам по всей стране. Из скромной помощницы геодезии, выполнявшей подсобную роль, какой гравиметрия была во времена Штернберга, она стала основным направлением геодезических исследований, которому принадлежит сейчас решающее слово в определении истинной фигуры планеты. Это наука, родившаяся в нашей стране после Октября.

За сто лет, на протяжении которых в России велись отдельные гравиметрические наблюдения, была определена сила тяжести всего в 400 пунктах. После 1920 года темп исследований резко изменился. Одни ученые отправились измерять силу тяжести на Урале, другие обследовали центральные районы. Экспедиции Ленинградского астрономического института меряли Поволжье, окрестности Баку. Полтавская гравиметрическая обсерватория «взвешивала» Украину.

К 1932 году на территории нашей страны было промерено свыше 2 тысяч точек. Но распределялись они очень неравномерно. Почти вся Европейская часть страны и вся Сибирь

оказались не затронутыми этими исследованиями. Поэтому Совет Труда и Обороны объявил, что с этого года начинается плановая гравиметрическая съемка всей страны. Предстояло в течение нескольких пятилеток произвести 22 тысячи измерений.

«Гирей» служил обычный маятник — тот самый маятник, которым Рише измерял время и который дал когда-то Ньютону основание, вопреки всеобщему мнению, утверждать, что Земля сплюснута у полюсов.

Рише, путешествуя из Парижа в Кайенну, то удлинял его, то укорачивал, пытаясь сохранить постоянным количество качаний. Теперь же длину стержня маятника не меняли, а считали, на сколько раз он качнется больше, будучи перевезен в новое место.

Секундным или полусекундным он был только в какой-нибудь одной точке, например экватора. И делал там за сутки 86 400 качаний. Когда маятник привозили в средние широты, он начинал качаться быстрее. Определяя количество лишних движений, устанавливали, насколько сила тяжести тут больше, чем на экваторе. Ведь раз маятник качается быстрее, значит его толкает бóльшая сила.

Для отсчета ударов к маятнику приделали специальный счетчик. Но производить измерения тяжелыми шарами, подвешенными на длинной проволоке, какими были маятники во времена Ньютона, неудобно, и из шара на длинной нити он превратился в невысокий устойчивый прибор.

Вначале маятник делали из меди, потом на смену медным пришли бронзовые маятники и инварные — из специального, почти не расширяющегося сплава. А теперь их все чаще изготавливают из кварца. Время же колебания отсчитывают обычно по хронометру.

Существует несколько десятков различных типов таких приборов. В нашей стране чаще всего применяется тот, который сконструирован в Астрономическом институте имени Штернберга, а для более точных измерений — кварцевый маятник, созданный Центральным научно-исследовательским институтом геодезии, аэросъемки и картографии.

Чтобы еще больше упростить задачу, силу тяжести не измеряют каждый раз заново, а определяют лишь разность между ее величиной в данной точке и тем пунктом, для которого она хорошо известна.

Маятники определяют требуемую величину силы тяжести с точностью до миллионной доли. Но они большие неженки. От малейших сотрясений или незначительных изменений температуры их ход нарушается.

Кроме того, для измерений силы тяжести в какой-либо точке

с помощью маятников нужно потратить много времени, иногда несколько дней. Поэтому вместо них в последние 15–20 лет стали применять для измерений силы тяжести специальные приборы — гравиметры.

Гравиметры напоминают обычные пружинные весы. В них тоже взвешивается какой-то определенный груз, небольшой «шарик» ртути, скажем. Но его вес уравновешивается не гирей, а какой-либо упругой силой — пружиной, натянутой нитью или газом определенного объема.

Уравновесив груз в контрольном пункте, гравиметр везут в другой город, где сила тяжести иная. Вес грузика там соответственно увеличится или уменьшится. Как только груз станет, предположим, тяжелее, он сильнее растянет пружину или закрутит нить, что тотчас отразится на измерительной шкале. Все другие причины, которые могут нарушить равновесие этих сверхточных пружинных весов, тщательно устраняются: гравиметр помещают в термостат, герметически закупоривают, изолируют от возможных магнитных воздействий.

К началу гравиметрической съемки в стране было всего 20 маятниковых приборов. А сейчас специальные заводы снабжают геодезистов различными типами маятников и гравиметров. За конструирование гравиметра с нитью из кварца С. Поддубному и Н. Семенову присуждена в 1948 году Сталинская премия. Премией отмечен и пружинный гравиметр, разработанный группой советских гравиметристов под руководством Г. Лукавченко.

Благодаря применению столь различных «гирь» и «гирек» геодезистам впервые оказались подвластны громадные пространства. Они смогли, наконец, с «пятачка» суши, на котором топтались до сих пор, шагнуть и на остальные две трети планеты, остававшиеся неисследованными. Правда, для этого «гирю» пришлось усовершенствовать, чтобы она чувствовала себя уверенно и на шаткой поверхности океана.

Впервые измерил силу тяжести на море голландский ученый Венинг-Мейнес. В 1923 году он принимал участие в гравиметрической съемке на территории своей страны. В сильно заболоченной Голландии трудно было найти устойчивую опору для маятника. Это и заставило его задуматься над возможностью создания прибора, не боящегося качки.

Попытки определить силу тяжести на море делались и раньше. С помощью особого прибора — гипсотермометра — можно в месте наблюдения измерить температуру пара кипящей воды, а по ней узнать атмосферное давление. Ведь вода, как известно, закипает при 100 °С, лишь когда давление нормальное.

И уж совсем просто определить одновременно давление воздуха по обычному — ртутному — барометру. Величина получится разной, так как на столбик ртути, кроме давления воздуха, действует еще сила тяжести, а гипсотермометр показывает «чистое» атмосферное давление без помех. Сравнив показания обоих приборов, можно узнать, чему равна в месте наблюдения сила тяжести.

Но чтобы получить нужные результаты, температуру пара кипящей воды пришлось бы измерять с точностью до 100-тысячной доли градуса, а давление по барометру — до 10-тысячной миллиметра, что практически невыполнимо.

Профессор Венинг-Мейнес поступил иначе. Он использовал для этой цели обычный маятник, только не один, а сразу два, качающиеся в противоположных направлениях. Чтобы сосчитать движения маятника, к нему обычно приделывают зеркальце и наблюдают в трубку счетчика или ловят на фотопленке изображение отраженного светового луча.

Венинг-Мейнес предложил это изображение направить вначале на зеркальце второго маятника, подвешенного на том же штативе, и только потом ловить его. Случайные толчки при этом взаимно уничтожатся, и записанным окажется движение некоего идеального маятника, как бы не ощущающего посторонних колебаний.

…Осенью 1923 года от берегов Голландии отплыли три подводные лодки и, поблескивая перископами, направились в открытый океан. Их путь пролегал через Гибралтар, Средиземное море, Суэц, Индийский океан к голландской колонии — острову Ява. На одной лодке находился профессор Венинг-Мейнес со своим прибором.

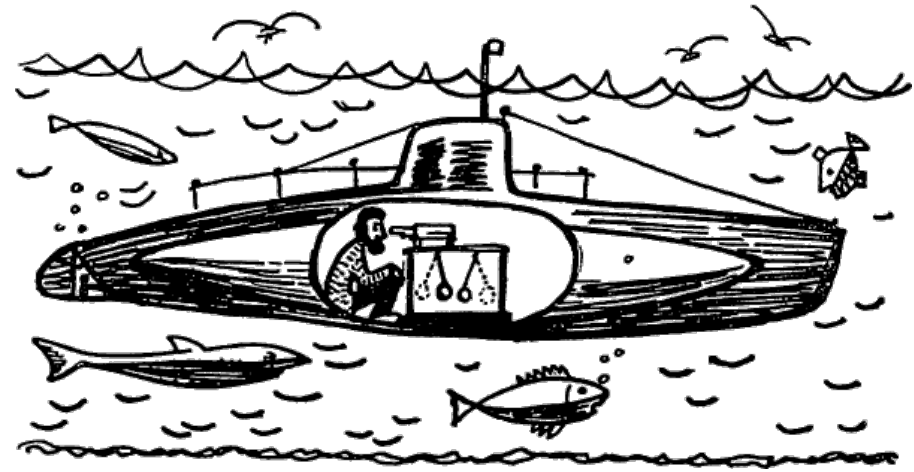
Подводная лодка была выбрана не случайно. В открытом море волны мешают наблюдениям, а стоило погрузиться метров на 20–30, и всякое волнение прекращалось.

Путь подводной лодки проходил главным образом через тропики. Внутри корабля стояла страшная жара, одежда и белье не просыхали в насквозь пропитанном влагой воздухе. Даже вода для проявления пленок нагревалась так сильно, что ею нельзя было пользоваться. Всплывала же лодка очень редко. Маршрут экспедиции пересекал район сильных и частых тайфунов, и моряки старались не вступать в бой с бушующими волнами. Ученому казалось, что экспедиция затерялась в бездонной синеве между голубым небом и голубым морем.

Два года спустя было предпринято новое подводное плавание опять до острова Ява, но на этот раз через Панамский канал и Тихий океан. За несколько лет профессор Венинг-Мейнес пересек

Атлантический и Тихий океаны, совершил плавание вдоль восточных берегов Америки, промерил Мексиканский залив, Караибское, Средиземное и Красное моря, произведя свыше 500 измерений силы тяжести.

Более чувствительный двойной маятник сконструировал советский ученый Л. В. Сорокин, меривший в те же годы силу тяжести на Черном море. Он произвел измерение в 72 пунктах, а потом перебрался на Тихий океан и провел еще 170 наблюдений в Охотском и Японском морях.



Во время первого полярного рейса ледокола «Садко» через Ледовитый океан советский профессор И. Д. Жонголович определил силу тяжести от Земли Франца-Иосифа до Северной Земли: в результате на почти пустую гравиметрическую карту Арктики было нанесено сразу 80 новых точек.

Исследования отважной четверки папанинцев — коллектива первой советской дрейфующей станции «СП-1» — добавили к ним еще 20. Тяжелый — около 70 килограммов весом — прибор с двойным маятником пришлось заменить более легким прибором, изготовленным специально для высокоширотной экспедиции Ленинградским астрономическим институтом. Новый прибор весил всего около 7 килограммов. Молодой научный сотрудник, теперь известный ученый, член-корреспондент Академии наук Евгений Константинович Федоров определял силу тяжести на всем пути дрейфа. Это были первые вылазки в неизведанные арктические просторы, ныне промеренные гравиметристами буквально вдоль и поперек.

Двойной маятник Венинг-Мейнеса был установлен и на американских подводных лодках «Барракуда», «Аргонаут», «Медрегал» и других, с которых велись наблюдения в Караибском море, на Тихом океане и в районе Австралии. Средиземное море промерили французы и итальянцы. Датчане исследовали

побережье Северного моря, японцы — океан вблизи своих островов.

И все же гравиметрическая съемка на земном шаре образует очень неравномерную сеть. На территории нашей страны расстояние между пунктами, в которых измерена сила тяжести, как правило, не превосходит 30 километров. А во многих районах составляет 10 и меньше. В Западной Европе сеть промеров столь же часта. А в Центральной Азии, Центральной и Южной Африке, Австралии, на большей части Южной Америки громадные пространства, площадью в несколько миллионов квадратных километров, образуют на гравиметрических картах почти сплошные «белые пятна». Южный Ледовитый океан и Антарктида были до недавнего времени совсем не обследованы.

Чтобы создать более или менее ровную гравиметрическую сеть на всем земном шаре, необходимо сотрудничество ученых всех континентов. Вот почему такие исследования вошли в программу Международного геофизического года.

Сейчас по всей планете работает огромное количество специальных гравиметрических станций, исследующих силу тяжести. Их вклад станет нагляднее, если представить, что только в один из международных центров, в котором собирают результаты гравиметрических наблюдений, ожидается поступление такого обильного количества новых сведений, что они с трудом уместятся в 90 томах, объемом страниц по 500 каждый. А чтобы запечатлеть материалы гравиметрических наблюдений на микрофильмах, такому центру потребуется свыше 100 километров пленки.

Геоид минус эллипсоид

Совсем избавиться от эллипсоида геодезистам так и не удалось. И вот почему.

Предположим, сила тяжести уже промерена на всей земной поверхности, и так часто, как это требуется. Теперь мы можем провести поверхность, перпендикулярную найденным направлениям силы тяжести, то есть получить, наконец, хоть и не тот, который предполагали — не гладкий, а бугристый, но все же самый настоящий геоид.

Можем-то можем. Но при этом мы узнаем только форму его поверхности. А расстояние, на котором поверхность геоида находится от центра Земли (то есть его размер), нам не может

сообщить гравиметрия.

Точная наука, позволившая вычислить с правильностью до нескольких метров форму Земли, оказывалась вдруг в положении гадалки, за результаты предсказаний которой трудно поручиться.

Пришлось опять вспомнить об эллипсоиде. Волнистая поверхность геоида местами поднимается над эллипсоидом, местами же опускается ниже его. Вычислив с помощью градусного аршина размеры земного эллипсоида, геодезисты как бы вычитают его затем из геоида, то есть находят излишки и недостающие куски. Этот земной эллипсоид так и назвали «референц-эллипсоид», что значит «эллипсоид, с которым сравнивают».

Изучение формы геоида свелось, таким образом, к определению разницы между его бугристой поверхностью и ровным эллипсоидом.

Но геоид — это ведь только близкая к действительной Земле фигура. Настоящая же физическая поверхность Земли находится, как мы знаем, на некоторой высоте над ним. Поэтому найти высоту геоида над эллипсоидом — это только половина задачи. Теперь предстоит вычислить, насколько сам геоид отступает от действительной поверхности Земли.

И хотя с введением понятия «геоид» определять форму земного шара стало сложнее, потому что ученым, занимающимся этой проблемой, приходится пользоваться и «градусным аршином» и «гирей», наше представление о собственной планете стало гораздо ближе к истине, чем раньше.

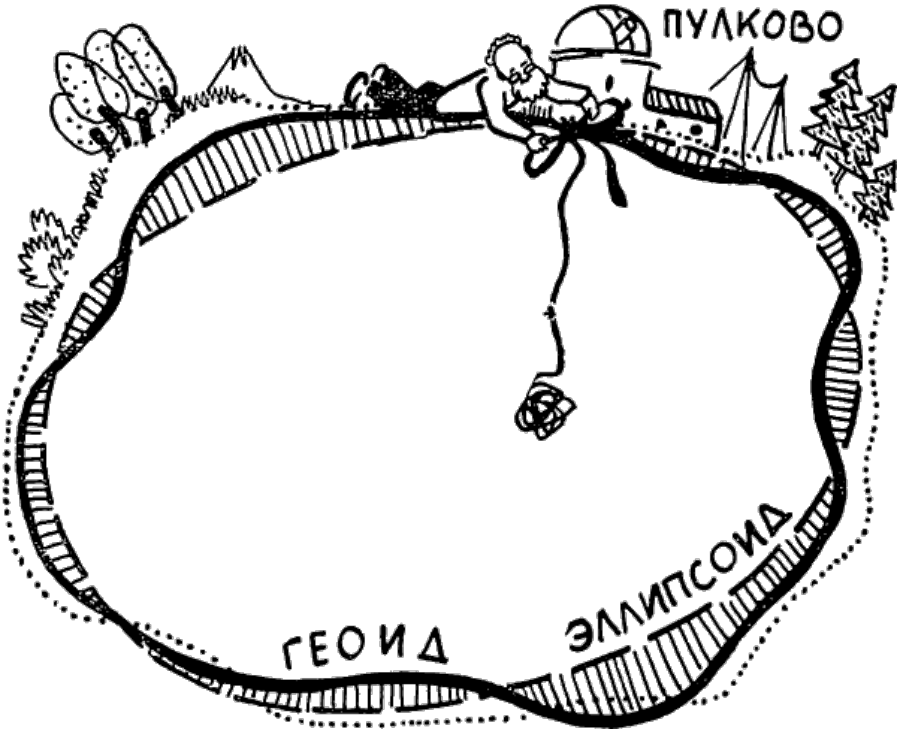
Как же производится это двойное вычитание?

После того как размеры эллипсоида вычислили достаточно точно, надо его надлежащим образом разместить, установить в теле Земли. Ведь его поверхность и поверхность геоида должны находиться достаточно близко друг от друга.

Для этого намечают какую-то точку на поверхности Земли и уславливаются, что здесь эллипсоид будет касаться земной поверхности. У нас обычно для этой цели выбирают Пулково, где расположена Главная астрономическая обсерватория Академии наук. Тогда эллипсоид займет внутри Земли вполне определенное положение: его полярная ось и плоскость экватора будут параллельны оси вращения Земли и земному экватору. Но центр эллипсоида разместится где-то в стороне от земного.

Понятно, что два референц-эллипсоида одних и тех же размеров, но ориентированные в двух разных городах, например один в Пулкове, другой в Ташкенте, займут совершенно разные положения внутри Земли. Поэтому, когда говорят, насколько геоид в том или ином месте отступает от эллипсоида, приходится

указывать не только, от какого эллипсоида — Красовского, Бесселя или Хейфорда — ведется счет, но и в какой точке он ориентирован.



На территории СССР геоид отступает от эллипсоида Красовского, ориентированного по Пулкову, в среднем метров на 20, а местами на 50 и даже 80. Это вполне допустимая разница. Достаточно сказать, что старый эллипсоид Бесселя расходился с поверхностью геоида в Хабаровске на 370 метров, а в районе дальневосточного побережья на целых 400.

Но вот эллипсоид наконец-то установлен. Тогда вступает в игру гравиметрия. Вооружившись маятниками и пружинными часами, гравиметристы отправляются измерять силу тяжести в разных концах земного шара.

Собственно, их интересует не сама сила тяжести, а ее неправильности — насколько она отличается от той, которая должна соответствовать «нормальной», как они говорят, Земле. Величину силы тяжести на «нормальном» — совпадающем с гладкой морской поверхностью — геоиде можно рассчитать теоретически: по формулам. Теперь надо бы ее сравнить с действительной, измеренной силой тяжести. Но тут-то и начинаются новые трудности.

Ведь измерения этой действительной силы тяжести производились не на самом геоиде, а где-то выше него — на

поверхности суши. Значит, надо узнать прежде всего, насколько именно выше, а затем выяснить, как сказалось на подлинном результате притяжение лишних, расположенных над геоидом масс Земли. Добавочный кусок, который прибавляется на материке к длине притягивающей «нити», можно попытаться вычислить — ведь это и есть наша высота над уровнем моря.

Делается это чисто условно. У нас для отсчета высот всех точек принят средний уровень воды в Финском заливе. Его определили, наблюдая, насколько в разные годы поднимается футшток. От кронштадтского футштока советские геодезисты и отсчитывают все высоты над уровнем моря. В других странах пользуются уровнями других морей.

Так в расчетах геодезистов появляется первая поправка и первая ошибка — расплата за приблизительность.

А вот как определить, тяжелые или легкие породы лежат над геоидом, не зная, что это за породы? Геодезистам приходится высчитывать вес пород средней плотности и вычитать из измеренной силы тяжести величину развиваемого этими породами среднего притяжения. Удивительно ли, что такая поправка тоже оказывается приблизительной?

Но и это еще не все. Чем дальше, тем таких поправок становится все больше. Всевозможные допущения, средние, примерные, величины загромождают формулы новыми членами, усложняют, запутывают вычисления. И избавиться от них нельзя.

Хорошо, если вы измеряли силу тяжести в равнинной местности. А если такие наблюдения производились, например, на Кавказском хребте? Тогда обязательно придется вычислять то лишнее притяжение, которое исходит от горного массива.

Попробуйте взвесить гору. Эта задача показалась бы непосильной и сказочному великану. Гравиметристы же смело приближаются к заоблачному гиганту с крошечными «весами» и с помощью очень сложных и, конечно, опять-таки приблизительных расчетов находят, насколько гора искажает силу тяжести на уровне моря.

И только теперь можно, наконец, узнать разницу между силой тяжести на поверхности идеального и действительного геоида. Для определения формы геоида необходимо, таким образом, достаточное количество гравиметрических промеров.

Но даже если мировая гравиметрическая съемка будет завершена, мы узнаем лишь приближенную форму поверхности геоида. Неточности, как мы говорили, возникают главным образом от того, что неизвестно строение земных недр и, значит, распределение плотностей внутри нашей планеты. Эти ошибки особенно значительны в горных районах. Они сильно искажают

карты земной поверхности.

На какие только хитрости не шли ученые, чтобы обойти это препятствие, делающее геоид в современных условиях точно неопределимым!

Одно время хотели провести новый геоид на уровне самой высокой точки суши — так, чтобы все материки, которые раньше оставались за пределами геоида Листинга, оказались бы внутри. Но это мало спасало дело. Вместо высот над уровнем моря теперь пришлось бы мерить глубины от уровня нового геоида. В остальном же все осталось бы по-прежнему — ведь силу тяжести непосредственно на этом геоиде измерить тоже невозможно.

Был предложен и другой вариант: все лишние, надгеоидные массы материков вообразить как бы опрокинутыми внутрь него. Тогда все измерения силы тяжести, произведенные на поверхности Земли, как говорят, «повиснут в воздухе», и поэтому измерять придется только одну высоту над уровнем моря-геоида. А вычислив ее, можно представить, будто измерения производились непосредственно на геоиде, величину же опрокинутых излишков массы приплюсовать к излишкам или недостаткам неоднородных по плотности внутренних слоев Земли, также искажающих, как известно, вид ровного геоида. Форма такого «исправленного» геоида зависела бы, таким образом, лишь от строения заключенных внутри него земных масс.

Однако и эти способы требовали знания внутреннего строения Земли. И теоретики-геодезисты принялись за поиски принципиально нового способа нахождения фигуры Земли. Нужно было освободиться от необходимости знать плотности пород земных глубин.

Более десяти лет тому назад эту очень сложную математическую задачу решил наш соотечественник М. С. Молоденский. В настоящее время у него много последователей и в СССР и за рубежом. В Советском Союзе теория Молоденского вошла в геодезическую практику.

Наши геодезисты уже не стремятся определить геоид и высоты точек поверхности Земли над геоидом. В качестве посредника на этот раз используется другая, вспомогательная поверхность, которая названа квазигеоидом, то есть почти геоидом.

Если говорить точно, то никакого квазигеоида нет в действительности, как нет на самом деле географических полюсов или градусной сетки. И то и другое — условные, то есть существующие только в представлении ученых, линии или фигуры, выведенные чисто математически. И вот математически-

то и удалось «провести» между глубинным эллипсоидом и земной поверхностью еще одну воображаемую поверхность, по очертаниям очень близкую к геоиду.

Расчеты показывают, что квазигеоид отступает от геоида Листинга в ту и другую сторону не больше чем на 2 или 3 метра. И то только в горной местности, а на равнинах — едва на 2–3 сантиметра. На морях же они полностью совпадают.

Так мало отличаясь по форме от подлинного геоида, его искусственный собрат лишен главного недостатка, ставшего камнем преткновения при определении формы Земли: он не зависит от плотности слагающих нашу планету пород.

С помощью квазигеоида можно, таким образом, определить форму Земли по одним градусным и гравиметрическим промерам, независимо от того, каково ее внутреннее строение.

Расстояние от поверхности Земли до эллипсоида и в этом случае разбито на две части. Из чрезвычайно сложной по очертаниям Земли, как и раньше, выделяется наиболее неправильная внешняя часть, представление о которой дают высоты над квазигеоидом. Вторая, оставшаяся часть — несравненно более ровная. О ней можно судить, определив высоту квазигеоида над совсем уже гладким эллипсоидом.

Но в отличие от старого способа обе эти части можно вычислить очень точно. Ведь теперь точность вычислений зависит только от правильности измерений, и на результат не влияет степень наших знаний о «внутренности» земного шара.

Зависящий от строения земной толщи, геоид превращал измерение высоты и внешней — той, что выше него, и внутренней, охваченной эллипсоидом — частей Земли скорее в геологическую, не имеющую пока точного решения задачу. А квазигеоид позволяет свести ее к чисто математическому, легко достижимому решению.

Тем не менее новый способ, или, вернее, новая наука — геодезическая гравиметрия, основанная трудами М. С. Молоденского, не дает возможности обойтись без участия «гири». Для изучения фигуры Земли по-прежнему требуется мировая гравиметрическая съемка.

Магнитный «ключ»

С тем, что изобретенный геодезистами геоид, едва родившись, вышел из повиновения и распластался по Земле

совсем не там, где отвели ему место, ученые уже примирились. Не первый раз природа уготавливала им такие фокусы. И отправляясь в плавание по беспорядочным волнам геоида, они ставили перед собой только одну цель: на первое время хоть в самых общих чертах измерить эти волны.

Но все чаще и чаще возникал перед ними вопрос: так ли уж они беспорядочны? Может быть, есть все-таки какой-то скрытый порядок в этом хаосе больших и малых тяжестей?

Случайно ли, например, оба больших гребня геоида соответствуют океанам, а обе низины — материкам? Когда занялись исследованием состава дна океанов, оказалось, что оно повсюду состоит из тяжелых базальтов. А материки сложены из более легких гранитов. Разница в силе, с которой базальты и граниты притягивают тела, довольно значительна.

Получалось, что в земной коре есть две области, в которых сосредоточены тяжелые массы, образующие возвышения геоида, и два района, где сгруппировались менее тяжелые массы континентов, вызывающие понижения геоида.

В таком случае расшифровать, почему геоид изгибается так, а не иначе, вероятно, поможет наука, изучающая образование на земном шаре материков и океанов?

А наблюдения приносят новые удивительные открытия. Обнаружилось, что и магнетизм Земли такой же «неровный», как сила тяжести на ее поверхности. В самых неожиданных местах Земля оказалась намагниченной сильнее, чем в соседних. Одни из таких магнитных сгустков тянутся всего на протяжении нескольких километров, другие охватывают нередко целые материки.

Советский магнитолог В. П. Почтарев обратил внимание, что эти магнитные волны как бы бегут с меридиана на меридиан, огибая земной шар. Во всяком случае наиболее крупные волны расположены именно так. Но именно в тех же самых местах распределены по поверхности Земли и главные волны геоида. Волны тяжести и магнитные сгустки и пробелы оказались словно вложенными друг в друга, подобно тому как совмещается волнистая поверхность двух кусков рифленого железа.

Оказалось, что более легкие материки и намагничены слабее тяжелого дна океана. В Европе, например, лишь Скандинавский полуостров лежит во впадине геоида. Но здесь же, в Скандинавии, земной шар и намагничен слабее, чем на всей остальной территории Европы.

Один из бугров геоида расположен там, где находится Южно-Африканский Союз, а на севере Африки лежит «впадина». И соответственно северная часть Африканского материка

намагничена слабее. На Прикаспийской равнине геоид уходит вниз и поднимается только на побережье Тихого океана. И покорно «ныряет» здесь вниз по шкале стрелка магнитометра. Так же плотно складываются магнитные и гравитационные неровности в Северной и Центральной Америке.

В южном полушарии волна тяжести, которая приходится на Австралию, совпала с магнитным сгустком. А более тяжелая по сравнению с Арктикой Антарктида и намагничена гораздо сильнее первой.

Откуда берутся такие магнитные сгустки? На этот вопрос еще не может дать точного ответа современная наука. Ей просто недостает многих данных. Ведь и сам магнитный океан открыт сравнительно недавно. Выдала его хорошо известная всем магнитная стрелка, вытягивающаяся всегда в направлении магнитных полюсов с юга на север. Эта же стрелка и стала первым измерителем силы земного магнита.

К обычному компасу присоединили шкалы отсчета и стали измерять колебания магнитной стрелки в каждой точке и величину действующих на нее сил. А когда к такому магнитометру прикрепили «перо» и бумажную ленту, он стал записывать движение стрелки в течение многих часов и дней и перемены в ее положении при перемещении по поверхности Земли. Извилистая кривая, вычерчиваемая магнитными приборами в разных концах земного шара, рассказала ученым о примерном строении магнитного океана.

Казалось бы, чего проще: промерить магнитный океан вдоль и поперек и определить все его неровности. Но для этого с юга на север и с запада на восток должны обойти земной шар многочисленные специальные экспедиции. Через каждые 20–25 километров — остановка: нужно установить приборы, тщательно выверить их, произвести замер и снова в путь.

Такую густую и равномерную съемку не легко провести даже в одной стране. А на всем земном шаре? Как прокладывать магнитный маршрут в девственных тропических лесах Бразилии, безлюдных песках Сахары, на бескрайних просторах океана?

Вот почему ученым известно еще очень мало о земном магните. Более или менее изучен он лишь на территории нашей страны, Западной Европы, США да в Японии. А на целых громадных материках — в Африке, Южной Америке — сеть магнитных промеров еще очень редка. По таким редким промерам трудно представить себе все глубины и мели невидимого магнитного океана.

В. П. Почтарев, обнаруживший загадочную связь между геоидом и земным магнетизмом, считает, что все его неровности

возникают в верхнем слое Земли — земной коре. Носителями магнитных свойств являются те же самые массы, которые создают земную тяжесть. Тяжелые они или легкие — зависит от того, насколько они плотны. А намагничены они слабее или сильнее — от их способности намагничиваться, или, как говорят специалисты, от их магнитной восприимчивости.

Эти свойства совпадают не всегда, почему не везде сгустки тяжести и магнетизма «вкладываются» друг в друга. Но как раз более плотные базальты намагничиваются в сотни раз сильнее, чем менее плотные граниты. Поэтому гранитные материки и оказываются более слабыми магнитами, чем базальтовое дно океана. А так как гребни геоида образованы, по-видимому, тоже базальтами, а впадины — гранитами, то они и совпадают с магнитными волнами.

Другой известный магнитолог, профессор Ю. Д. Калинин, убежден в ином. Вовсе не обязательно, чтобы магнитные сгустки создавались сильно намагниченными горными породами. С таким же успехом они могут возникать в результате каких-нибудь процессов в толще Земли: например, при перемещении электрических зарядов — ведь движущийся проводник с электрическим током тоже становится магнитом.

И вот если переложить все, что уже известно об этих магнитных неоднородностях на язык математических формул, то получится, что причиной их является вовсе не то или иное распределение в земной коре пород с разными свойствами, а что-то совершающееся значительно глубже. Ю. Д. Калинин даже назвал глубину, на которой происходят таинственные электрические процессы — примерно посредине земного радиуса.

Какая из этих гипотез подтвердится, сейчас трудно сказать. Но, может быть, земной магнетизм и окажется со временем тем ключом, которым удастся открыть тайники земных глубин, хранящие секрет извилин геоида. Пока же магнитный ключ помог обнаружить, что геоид не остается все время одним и тем же.

Оказывается, магнитные волны как бы отстают со временем от волн геоида, и совпадение не получается уже таким точным. Магнитологи, исследовавшие это любопытное явление, пришли к выводу, что так может быть в случае, если допустить, что волны геоида движутся, смещаясь, на запад. По-видимому, это значит, что в Земле происходит какое-то перемещение масс.

Несколько лет назад в научном мире широко обсуждалась другая сенсация, которую уготовил ученым земной магнит. В Арктике обнаружился, казалось, второй магнитный полюс. Это было немыслимо. Но упрямая магнитная стрелка так сильно отклонялась в одном из районов высоких широт, что ничего

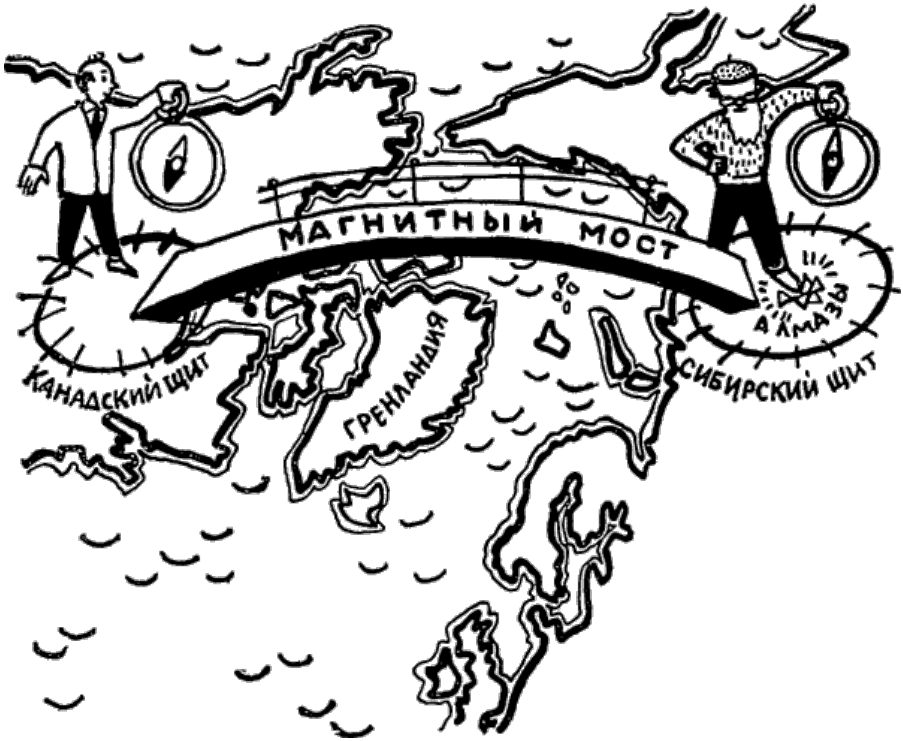
другого не оставалось думать. На поиски этого незаконного магнитного полюса в 1948 году отправилась специальная экспедиция советских полярников.

Никакого добавочного полюса экспедиция не обнаружила. Зато было сделано интереснейшее географическое открытие: подводный хребет на «плоском» дне океана! В районе же Новосибирских островов, где предполагалось существование второго полюса, отмечена колоссальная магнитная аномалия, равной которой по силе нет нигде на земном шаре. Магнитные меридианы, не сходясь вместе, как это должно быть на настоящем полюсе, узким густым пучком тянутся здесь через Ледовитый океан. И этот загадочный магнитный мост проходит как раз над вершинами подводного хребта Ломоносова.

В чем его причина?

Точный ответ еще не найден. Но уже наметилась новая цепочка удивительных связей и открытий — от магнитного полюса — к якутским алмазам. И опять в это, хотя и косвенно, оказалась замешанной форма Земли.

В известном смысле в северном полушарии все же два магнитных полюса, говорит советский исследователь Я. Я. Гаккель. Ведь магнитную силу Земли можно мерить в двух направлениях — горизонтальном и вертикальном. И вот если рассматривать только ее вертикальную составляющую, то окажется, что наибольшего значения она достигает не на магнитном полюсе, как можно было ожидать, а на концах загадочного магнитного моста — в центре Канадского и Сибирского кристаллических щитов.



Канадский и Сибирский щиты — интереснейшие геологические центры, единственные в своем роде на всем земном шаре. Это самые древние участки суши, так называемые «ядра» формирования земной коры. В центре щитов, которые никогда не заливало море, лопнула когда-то земная кора, растекаясь во все стороны лучами трещин и разломов.

Паутина тысячеметровых трещин распространилась далеко за пределы самих щитов, неузнаваемо меняя лик Земли: там, где протянулись лучи разломов, из земных недр вырывается пылающая магма; реки, встретив на пути провал, сворачивают в сторону, края трещин сминаются в горные складки, а море проникает по трещинам далеко в глубь континентов.

В этих центрах зарождались мощные движения материковых глыб, развивались чудовищные напряжения, страшнейшая температура, колоссальное давление. И именно среди нестерпимого жара и огромных давлений из магмы рождались сверкающие алмазы.

Ясно, что Сибирский и Канадский щиты — центры, где прорвалась какая-то колоссальная энергия, отголоски которой мы наблюдаем теперь в отчаянных колебаниях магнитной стрелки да россыпях самых твердых и самых дорогих камней.

Но почему раскололись крепчайшие щиты?

Предполагают, что именно здесь-то и распрямилась когда-то

замедлившая свои обороты Земля. Вслед за вытягивающейся планетой поднялась горбом земная кора и, не выдержав колоссального напряжения, лопнула, подобно стеклу, в которое с размаху бросили камень.

В единую цепочку, как видно, связаны не только магнетизм Земли и развиваемая нашей планетой сила тяжести, но и процессы образования гор, формирования горных пород.

И разве не говорит каждое новое открытие в смежных областях наук, что разгадку секрета геоида надо искать сообща с магнитологами, геофизиками, геологами, геохимиками и другими специалистами, изучающими разные стороны той жизни, которой живет наша планета? Ведь облик Земли несет на себе отпечатки этой бурной и еще не разгаданной до конца жизнедеятельности.

Вопрос о форме Земли становился все более сложным. Крепла мысль, что одними наземными измерениями при его решении не обойтись. А что, если попробовать «взвешивать» Землю из космоса?

III
Луна — рулетка

«Капризы» Луны

Ньютон в письмах друзьям часто жаловался, что Луна непостоянством своего движения причиняет ему много

неприятностей.

И в самом деле, ни одна планета или ее спутник не движутся так беспорядочно и сумбурно, как это чутко реагирующее на малейшее изменение земных сил тяготения небесное тело. Но именно это и навело на мысль использовать Луну в качестве «гири». Уж очень заманчиво было не снаряжать тысяч дорогостоящих экспедиций и не рассылать их в разные концы нашей планеты, а обмерять Землю, не выходя из обсерватории.

Луна — самое близкое к нам небесное тело. Она находится на расстоянии всего 60 земных радиусов, где притяжение Земли еще достаточно сильно. Благодаря этому притяжению Луна и ходит, как на привязи, вокруг земного шара с запада на восток по чуть вытянутому эллипсу, перемещаясь за час примерно на полградуса.

Движется она гораздо быстрее других планет, поэтому за ее перемещениями легко наблюдать. К тому же при этом меняются ее видимые очертания. Появляется она в виде узенького серпа, который с каждым днем становится все шире, пока, наконец, не обратится в совершенно круглый диск. Это значит, что Луна находится за Землей — как раз напротив Солнца, которое освещает обращенную к нам половину.

Затем лунный диск начинает уменьшаться, и все повторяется в обратном порядке. И к тому времени, когда наша спутница окажется между Землей и Солнцем, она вновь исчезает, повернувшись к нам темным боком.

Между каждым ее появлением и исчезновением Земля успевает обернуться вокруг самой себя почти 30 раз. Это и есть месяц — основа календаря.

Но если спросить астрономов, окажется, что им известен добрый пяток разных месяцев. И все они отсчитываются по ходу изменчивой Луны.

Первый месяц — это время, за которое Луна возвращается к тому же положению относительно Солнца. Его называют еще лунным, или синодическим, и длится он 29,5 суток.

А вот если сосчитать, за сколько времени Луна окажется среди тех же звезд, то выяснится, что на это ей нужно всего 27 суток. Этот месяц, за который Луна обходит вокруг Земли, получил название звездного, или сидерического.

Но на ближайшем от Земли расстоянии — в перигее — Луна появляется всегда немного позже, чем кончается звездный месяц. Отрезок времени, за который Луна снова подходит ближе всего к Земле — от перигея к перигею, — астрономы называют аномалитическим месяцем. Он примерно на полдня длиннее звездного.

Наконец в течение каждого календарного месяца Луна дважды пересекает ту тропинку на небосводе, по которой путешествует среди звезд Солнце — эклиптику. Однако промежуток времени между двумя пересечениями Луной эклиптики в одном и том же направлении — эти точки называются «узлами» лунной орбиты — оказывается длиннее звездного месяца. Так создалось представление еще об одном месяце, который назвали «возвращением по широте». Он длится чуть больше 27 дней.

Список месяцев можно было бы еще продолжить. Но нас интересует другое: откуда взялись многочисленные лунные месяцы? Эти опоздания и досрочные появления Луны можно объяснить только тем, что скорость ее движения меняется. Время от времени она как бы где-то немного задерживается, а часть пути пробегает быстрее, чем обычно, словно спрямляя его. Выходит, что ее путь — вовсе не такой ровный эллипс, каким он представлялся поначалу. Что же искривляет путь Луны?

Оказалось, это проделки наших соседей по вселенной — других планет. Когда Луна подходит к ним на ближайшее расстояние, они начинают ее притягивать сильнее и сдвигают с правильной орбиты, заставляя сделать небольшой крюк. Больше же всего повинно в этом Солнце.

Соседние планеты — те все-таки находятся довольно далеко от Луны, и у них не хватает сил значительно изменить ее путь. А вот могучее Солнце расправляется с Луной как хочет.

Когда Луна приближается к нему, оно только за три дня может оттащить нашу спутницу с правильной орбиты на тысячу километров. И с Земли нам будет казаться, что она «скакнула» на 4 угловых секунды в сторону. А Юпитеру, чтобы сдвинуть настолько же ближайший к нему Сатурн, понадобилось бы три года, а то и больше.

Главнейшие возмущения в движении Луны и вызываются Солнцем. Это оно задерживает «узлы» лунной орбиты, как бы заставляя их пятиться назад, толкает вперед точку перигея, который поэтому «обгоняет» Луну. Кроме того, Солнце постоянно сжимает, сплющивает орбиту Луны и производит в ней еще множество больших и малых изменений.

Изучение пути Луны по небу — чуть ли не самая трудная задача астрономии. Поисками многочисленных «возмущений» в лунной орбите занимались сотни ученых в течение не одного столетия. И почти каждый год приносил новые доказательства непостоянства спутницы Земли.

Эйлер говорил, что определить все отклонения Луны от правильного пути — задача, превосходящая силы человеческого

ума. А сейчас астрономы могут похвалиться тем, что эта задача ими решена почти до конца. Ньютону было известно 7 «возмущений» в лунной орбите. Американский исследователь Луны Браун в конце прошлого века насчитывал их уже 751. А современные формулы, определяющие положение Луны на небе, содержат еще больше членов, выражающих величину таких отклонений.

Путь Луны изучен с поразительной точностью. Достаточно сказать, что ей не удается отклониться в сторону даже на 200 метров, чтобы это не стало известно астрономам.

Гораздо труднее оказалось все эти отклонения объяснить. Одно время даже возникло сомнение: вызвано ли движение Луны только всемирным тяготением?

Крупнейшие математики, развившие дальше учение Ньютона, и то начали было сомневаться в универсальности этого закона. Может быть, те неправильности в движении Луны, причину которых не удалось отыскать, как раз и говорят о том, что между небесными телами действуют не только силы взаимного притяжения, но и еще какие-то, неизвестные нам?

Всемирное тяготение Ньютона, уже выдержавшее при своем рождении борьбу за право существования, снова было поставлено под удар. Петербургская Академия наук — одна из самых молодых академий Европы — объявила премию за обоснованный ответ на вопрос: «Согласны ли все неравенства, которые наблюдаются в движении Луны, с ньютоновой теорией и какой должна быть истинная теория всех этих неравенств, чтобы по ней можно было со всей точностью определять место Луны на любое время?»

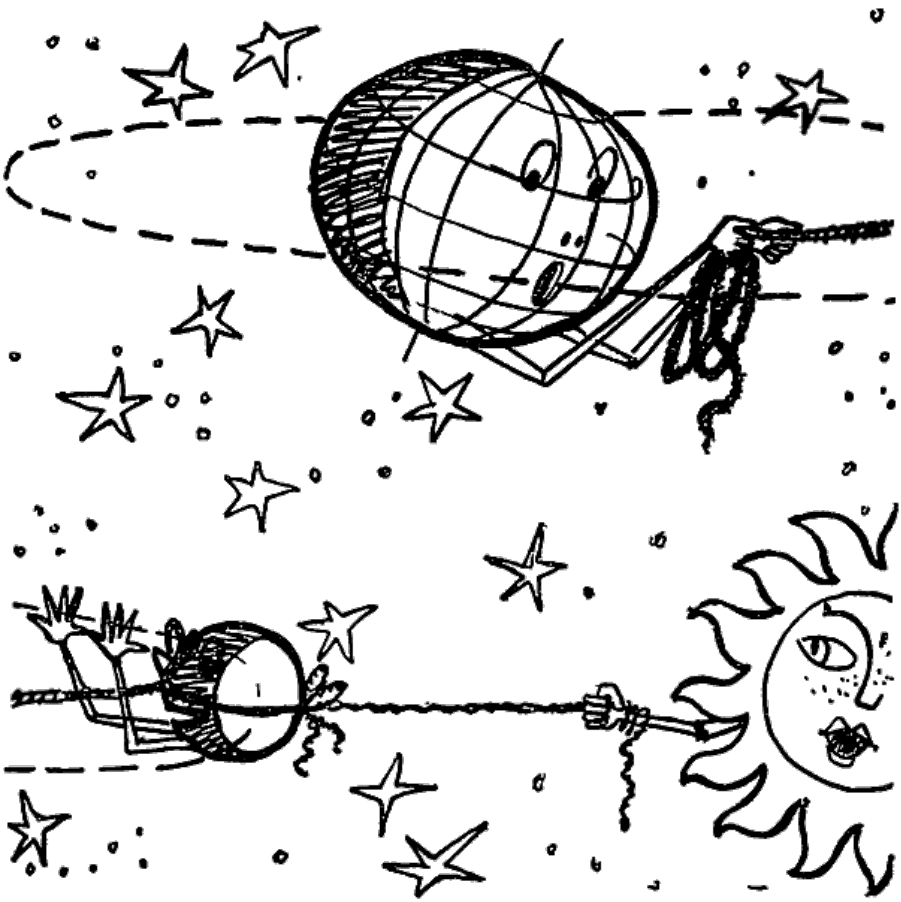
Конкурс привлек большое внимание. Победителями оказались французские математики, сами посеявшие сомнение в истинности рассуждений Ньютона. Все дело в том, что движение Луны гораздо сложней, чем о нем думали в те времена, когда создавалось учение о всемирном тяготении. Так, в движении Луны была обнаружена еще одна неправильность, а тень, падавшая на многострадальную теорию Ньютона, окончательно развеяна.

Но не всегда дело обходилось так просто. Сравнивая, например, даты затмений Солнца Луной, ученые никак не могли согласовать затмения, которые происходили в древности, с теперешним движением Луны по орбите. Получалось, что раньше Луна двигалась как бы медленнее. Так было и решили поначалу, что она все ускоряет свой бег. Но чем это вызвано?

Предположили, что виновато все то же Солнце. Сжимая лунную орбиту, оно укорачивает путь Луны, и более короткий

эллипс она обегает быстрее. Десятки лет это объяснение считалось правильным. Но когда попытались проверить, насколько же Солнце может заставить Луну двигаться быстрее, выяснилось, что наше светило подгоняет ее лишь на 6 секунд в год. А наблюдения показывали, что каждый год она проходит свой путь на 10 секунд быстрее, чем раньше. Откуда взялись эти 4 секунды — отклонение в целых 8 километров?

И только когда обнаружили, что сама Земля вращается теперь чуть медленнее, стало понятно, что лунное ускорение лишь кажущееся. Достаточно нашим суткам удлиниться за 100 лет на 0,001 секунды, чтобы нам показалось, будто Луна уходит вперед на 4 секунды в год — ведь удлиняющихся суток помещается в звездном месяце меньше, потому он и кажется короче.



Так было обнаружено, что не только «характер» Солнца, но и своеобразный «нрав» Земли сказывается на лунном пути довольно сильно.

И неудивительно. Хотя масса Солнца по сравнению с Землей огромна — в 330 тысяч раз больше, оно находится от Луны в 400 раз дальше, чем Земля. И именно из-за такой близости на пути Луны должны сказываться не только перемены в скорости вращения Земли, но и все особенности земной фигуры, порожденные неправильностями в строении составляющих ее масс. Вызываемые ими в движении Луны «возмущения» так и называются «членами от фигуры Земли».

Через каждые 27 дней — один раз в течение звездного месяца — широта Луны изменяется на несколько секунд. Причиной этого является сплюснутость Земли — ведь когда Земля обращена к Луне вдавленным полюсом, та притягивается слабее, чем когда находится против выпуклого экватора. И хотя сила притяжения уменьшается при этом лишь на 1/1 000 000 долю, путь Луны заметно искажается.

Раз в 18½ лет сжатая Земля заставляет свою спутницу изменить долготу на целых 7 секунд.

Эти периодические отклонения от правильного пути и есть знаменитые «члены от фигуры Земли». Обозначенные каждое определенным математическим символом, они входят в громоздкое уравнение, по которому ученые вычисляют, где в будущем месяце окажется на небе Луна.

Зная же, насколько и как изменяется из-за сжатия Земли орбита Луны, можно определить и само земное сжатие. Тут возможны разные способы.

Накапливаясь в течение веков, постоянные скачки настолько изменяют лунную орбиту, что наша спутница начинает подходить к Земле на самое близкое расстояние совсем не в том месте, где раньше, и пересекать видимый путь Солнца в новых точках. По этим вековым перемещениям перигея и узлов лунной орбиты можно определить, насколько земной шар сплющен.

Но уж больно долго «накапливаются» эти вековые «возмущения» в лунной орбите. Поэтому практически они не используются геодезистами, хотя в прошлом веке сжатие Земли было определено с помощью вековых «возмущений» довольно точно. Оно получилось равным $^1/_{294}$.

Столь же неудобно для определения формы Земли и изменение долготы Луны. Ведь никто не согласится ждать почти 19 лет, чтобы вставить в формулу одно маленькое число. Гораздо чаще при вычислении длины экваториального и полярного радиусов пользуются отклонением в широте, которое можно наблюдать ежемесячно. Наиболее точно таким способом вычислил сжатие Земли советский астроном К. Л. Баев. По его расчетам, полярный радиус оказался на $^1/_{296}$ часть длиннее

экваториального.

Была у геодезистов и еще одна тайная мысль, как заставить Луну мерить Землю. Ночное светило, заглядывающее во все уголки Земли, навело их на новую идею.

Форма земных материков довольно тщательно изучена с помощью геодезической «линейки» и гравиметрической «гири». А вот с морями дело обстоит хуже. Здесь практически осуществимы лишь гравиметрические измерения.

Но, может быть, есть все-таки такая «рулетка», которая могла бы опоясать и громадный поперечник океана?

Не так давно ученые пришли к выводу, что это может сделать Луна.

И все-таки почему именно Луна?

Нарисованные километры

Ранним утром 1528 года из Парижа по Большой Северной дороге выехала коляска, в которой сидел придворный врач Франциска II Жан Фернель. Но он спешил не к больному. И в чемоданчике, который он держал в руках, были не медицинские, а астрономические инструменты. Молодой врач увлекался астрономией.

Время от времени он просил кучера остановиться и измерял высоту Солнца. Фернель задумал определить длину градуса меридиана к северу от Парижа, чтобы затем заново вычислить размеры Земли. Наконец через три дня он оказался в небольшом городке Амьене. Его прибор показал, что Солнце здесь стоит в полдень ровно на один градус ниже, чем в то же время в Париже.

Фернель заночевал тут. А утром отправился в обратный путь. На этот раз он не смотрел на небо, а старательно отсчитывал обороты колеса своей коляски. До Парижа он насчитал их 17 024. Фернель вылез из коляски и измерил окружность колеса. Она оказалась равной 20 французским футам. Тогда Фернель помножил длину обода колеса на число его оборотов: получилось, что расстояние между Парижем и Амьеном равно 56 747 туазам.

Разумеется, сейчас никто не будет считать расстояние между городами по оборотам колеса, как это делал в XVI веке француз Фернель. Как измеряют расстояние в градусах, мы уже знаем. А вот чем промерить на земной поверхности сто с лишним километров, которые и составляют линейную длину градуса? Не

тянуть же за собой все 100 километров рулетку.

Древние математики, придумавшие остроумный способ определения дуги в градусах, не смогли изобрести столь же удобный метод измерений линейной длины градуса, да и вообще больших расстояний. Эратосфен, когда ему понадобилось узнать, насколько Сиена отстоит от Александрии, пользовался сведениями, полученными от караванщиков, которые, как известно, считали шаги верблюда. А ученые, мерившие градус меридиана в Аравийской пустыне, на протяжении десятков километров укладывали деревянный шест.

Как же сейчас измеряют расстояние хотя бы от Риги до Владивостока — от западных до восточных границ страны?

Более удобный на практике способ мерить большие расстояния изобрел спустя почти столетие после поездки Фернеля по окрестностям Парижа голландец Снеллиус. Он предложил перенести измерения с Земли на бумагу.

Предположим, мы хотим узнать, чему равна та же дуга от Парижа до Амьена. Для этого вовсе не надо измерять все расстояние между городами. Достаточно промерить небольшой кусок — километров в десять. Затем выбрать в окрестности какой-нибудь заметный предмет, который хорошо виден из его конечных точек, и мысленно соединить концы измеренного отрезка с намеченной колокольней или башней.

Теперь достаточно измерить углы полученного треугольника, чтобы легко высчитать, чему равна другая его сторона. Ее можно взять за основание нового треугольника, избрав его вершиной соседний холм или высокое дерево.

Так, переходя от одного видного издалека предмета к другому, можно покрыть треугольниками громадную полосу на поверхности Земли — вдоль любого меридиана или параллели — и вычислить длину этих отрезков градусной сетки, не измеряя линейкой ничего, кроме самого первого куска. Все остальные расчеты производятся на бумаге, куда перенесены воображаемые треугольники.

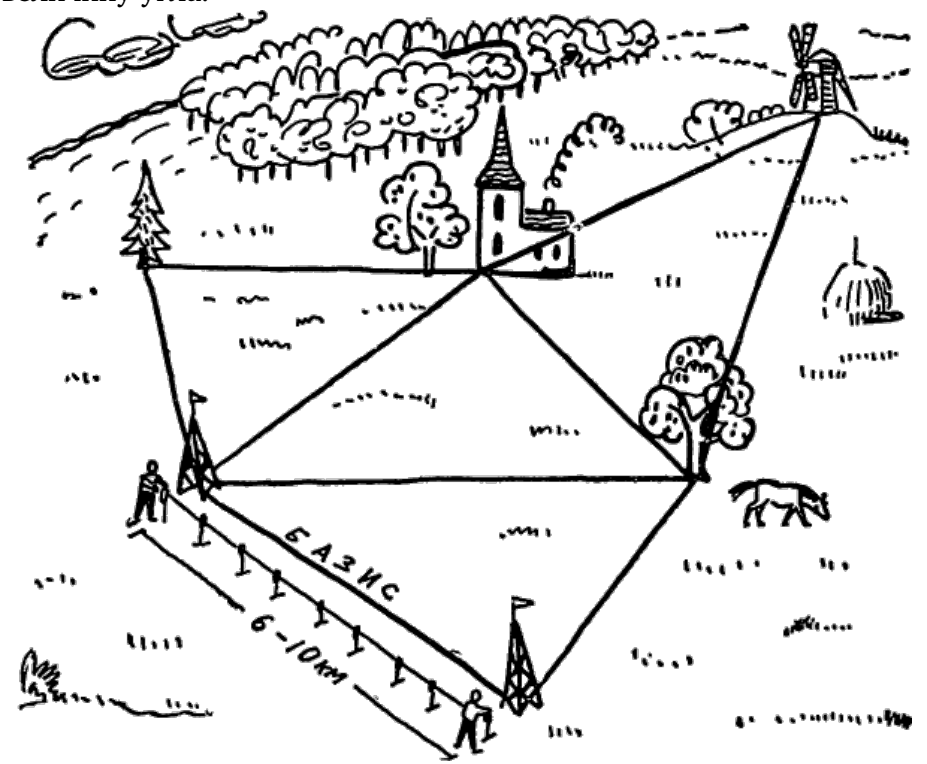
Этот способ, получивший название триангуляции (от латинского слова триангулум, что значит «треугольник»), является основным способом измерения больших расстояний на Земле.

Первую нить треугольников протянул с севера на юг Голландии сам изобретатель нового способа измерений — Снеллиус. Бесчисленные мельницы и колокольни, видимые на плоской, как блюдечко, голландской равнине издалека, словно сами образовали естественные треугольники.

А вот Лакондамину, прокладывавшему треугольники в горах

Перу, и Мопертюи, трудившемуся в болотистой тайге Лапландии, пришлось гораздо труднее. Они вынуждены были взбираться на окрестные горы и даже строить специальные вышки в вершинах треугольников, чтобы разглядеть соседние «сигналы». Лакондамин построил на своей дуге 32 треугольника, Мопертюи обошелся втрое меньшим количеством. Дуга же Струве состояла из 258 треугольников.

Таким образом, задача свелась к измерению углов, а не линий. Углы воображаемых треугольников меряют так же, как и высоту Солнца или Полярной звезды при определении широты. Только в зрительную трубку прибора наблюдатель вместо Полярной звезды ловит вначале одну вершину треугольника, потом другую. И так же на круге с делениями отсчитывает затем величину угла.



Но деревянные вышки с большого расстояния плохо видны. Поэтому углы большей частью измеряли ночью, зажигая на их верхушках лампу.

Потом придумали, как измерять углы и днем. Один из геодезистов забирался на башню и пускал в вершину соседнего угла солнечных «зайчиков» — только не карманным зеркальцем, а целой системой сложных зеркал. Другой наблюдатель «ловил» этот солнечный «зайчик».

Отраженный солнечный луч виден очень далеко. Поэтому

стало возможным строить большие треугольники. В равнинных степных районах обычно строят треугольники, у которых каждая сторона тянется на 20–25 километров, а в горной или лесной местности — на 30 и больше. Цепочки таких треугольников, расположенных крест-накрест, образуют огромную сеть, каждая ячейка которой составляет уже 200 километров в длину и столько же в ширину.

Тот же отрезок, от которого начинается ряд из треугольников, обычно имеет в длину всего 6–10 километров. Но его тоже надо как-то измерить.

Вдоль измеряемого отрезка расставляют специальные штативы, которые заканчиваются стальными цилиндрами. На них натягивают проволоку, на которой нанесены точные деления, а посредине цилиндра, венчающего штатив, тонкий штрих. Натягивают проволоку всегда с одинаковой силой, подвешивая на ее концах гири весом в 10 килограммов.

Черточка, делящая цилиндр, — это «стрелка». Какое деление проволоки окажется против нее, таково расстояние между двумя штативами. Каждый кусок промеривают два раза — в прямом и обратном направлении разными проволоками.

Проволоку изготавливают из специального сплава — инвара, который почти не расширяется при колебаниях температуры. Перед началом измерений земной поверхности каждый отрезок проволоки проходит тщательную проверку в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии. Здесь его длину с помощью сложных приборов сравнивают с эталоном.

Целые научные коллективы высчитывают возможную микроскопическую величину, на которую такая устойчивая к колебаниям температуры проволока все же может изменить свою длину из-за перемены погоды. В районе измерений геодезисты учитывают даже плотность воздуха. Они добиваются очень высокой точности, ошибаясь всего на миллионную долю измеряемой длины.

Измерять расстояние проволокой сложно и трудоемко. Поэтому физики предложили «протягивать» между пунктами не проволочную нить, а луч света. Скорость его бега известна. Остается только определить время, за которое он пробежит измеряемое расстояние, чтобы узнать, чему это расстояние равно.

Луч света выпускают через узкие ворота — экран телевизионной трубки. Ей в этом случае приходится играть не совсем обычную роль — она заменяет геодезистам своеобразные часы. Если вспышки света будут повторяться 20–25 раз в секунду, то наблюдатель увидит на экране не отдельные вспышки, а яркую

точку. Пробежав до конца отрезка земной поверхности, который хотят измерить, и встретив там заслон — зеркальце, свет поворачивает обратно.

А пока свет путешествует до зеркала и обратно, на экране изображение светящейся точки, как говорят, «развертывается» в горизонтальном направлении. Скорость этой «развертки» известна. Но вот посланный нами импульс света вернулся. И на экране в некотором отдалении от первоначальной появляется вторая яркая точка. Расстояние между ними — это и есть время, затраченное импульсом света на пробежку до зеркала и обратно. Только выражено оно не в секундах, а в миллиметрах.

Но луч света оказался не очень надежным работником. Измеряя расстояния с помощью световых импульсов, геодезисты ошибались нередко на несколько метров. Дело в том, что возвращение импульса света регистрируется на экране телевизионной трубки все же с некоторым опозданием.

Точность измерения значительно повысилась, когда вместо отдельных импульсов света стали использовать световые волны.

Если пучок света, прежде чем посылать его вдаль, с помощью «электронного затвора» заставить изменять свою интенсивность с определенной частотой, то он станет подобен волнам, распространяющимся по воде. Длина их будет определяться той частотой, с которой действовал «электронный затвор». Сосчитав, сколько волн такой длины прошло путь до зеркала и обратно за известный промежуток времени (это узнают по яркости ответного светового следа), определяют и само расстояние, которое они пробежали. Точность измерений повышается при этом раз в пять.

Световые волны заменяют иногда радиоволнами. С их помощью за короткое время можно измерить расстояние в сотни километров. Для этой цели используются только «прямые» радиоволны: короткие и ультракороткие. Длинные и средние не годятся, так как они распространяются криволинейно.

В пунктах, между которыми надо определить расстояние, устанавливают радиомаяки, а на самолете, летящем посредине между ними, — радиопередатчик. Получив «запрос», каждый радиомаяк посылает ответный сигнал, который попадает на экран самолетного локатора.

Так узнают, за сколько времени пробежали радиоволны от маяка до самолета и какой им пришлось совершить путь. А зная это расстояние, высоту полета самолета и радиус Земли, можно опять-таки по треугольникам, только не распластавшимся по Земле, а как бы поставленным вертикально, найти, насколько отстоят друг от друга города.

Этим способом определены расстояния между Флоридой и

Багамскими островами, Шотландией и Норвегией, Критом и Северной Африкой.

Но измеряя большой отрезок по частям, мы невольно ошибаемся: где-то недостаточно точно определим угол, где-то недосчитаем доли метра. Даже при тщательном измерении каждого кусочка мы совершаем крошечную ошибку. Накапливаясь, эти ошибки искажают истинные расстояния и, значит, наше представление о форме земной поверхности.

Избежать полностью таких ошибок не удается — это лежит за пределами точности применяемых в геодезии очень точных инструментов. Поэтому ученым пришлось признать неизбежность таких ошибок. А чтобы все-таки как-то бороться с ними, создали даже специальную дисциплину — теорию ошибок. Но даже и с ее помощью не удается совсем избавиться от неточностей. Другое дело, если бы была такая рулетка, которая за один присест могла промерить расстояние от Риги до Владивостока или от Америки до Европы, не дробя его на отдельные куски.

Землю меряют Землей

Но чем бы ни измеряли земную поверхность — проволокой, лучом света или радиоволной, — сами эти меры надо с чем-то сравнить, чтобы знать, сколько же раз это «что-то» укладывается в куске проволоки или между гребнями световых волн.

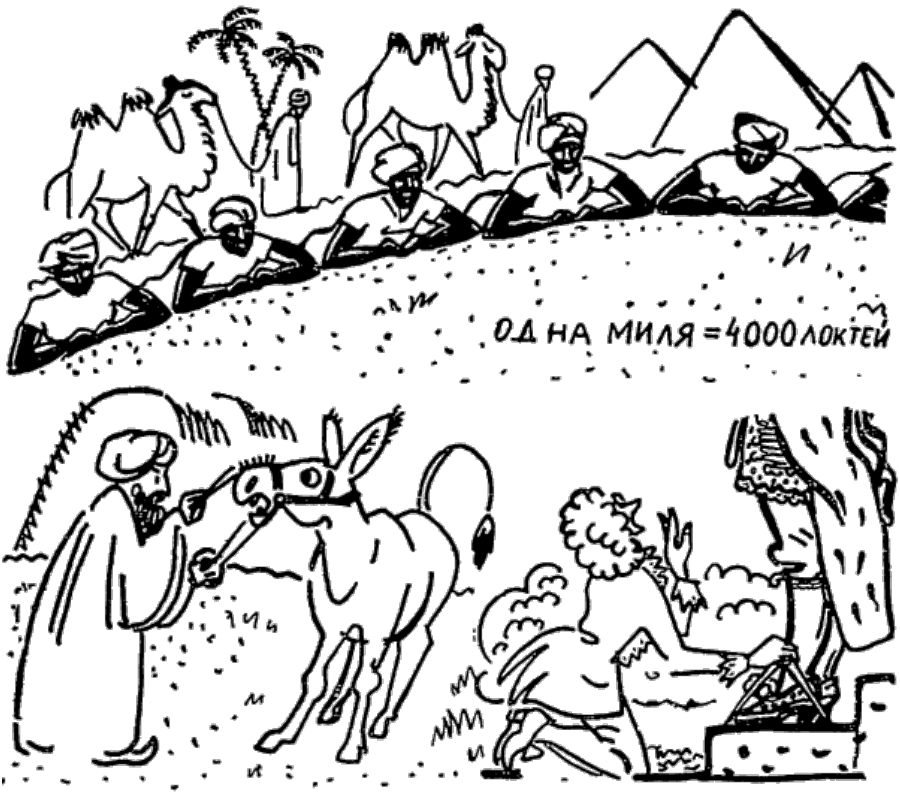
Когда Пикар, конца работ которого с таким нетерпением ждал Ньютон, прокладывал треугольники в центре Франции, он сравнивал свой мерный шест с туазом.

Французский туаз — вернее, его эталон — представлял собой железную полосу, вделанную в ступеньку лестницы старинного королевского замка Шателе в Париже. Все вновь изготовленные туазы привозили в замок и прикладывали к ступеньке. Если они оказывались правильными, то помещались как раз между скобками, которыми кончалась железная полоса. Если бы эталон был случайно утерян, восстанавливать его пришлось бы не совсем обычным для нас способом: в длине туаза ровно шесть раз укладывалась ступня короля, которая, в свою очередь, состояла из длины двенадцати суставов больших пальцев.

Арабы, измерив градус меридиана в северной Месопотамии, записали, что его длина равна $56^2/_3$ арабской мили. Но ученые до сих пор не могут определить, много это или мало. Ведь арабы считали, что их миля равна 4 тысячам локтей, каждый локоть —

ширине 8 кулаков, а кулак — 4 пальцам, палец же — шести волосам с морды осла, положенным рядом.

Но поди узнай размер обуви, которую носил давно умерший король или толщину волос с морды осла. Поэтому от многих древних мер остались только одни названия, как от той самой египетской стадии, например, в которой впервые вычислил длину земного радиуса Эратосфен. До сих пор гадают ученые, сколько же это будет на наш счет? Но так и неизвестно, с какой точностью определил размеры Земли ее первый землемер.



В России служила эталоном не железная полоса, а поперечник свода колокольни Петербургского адмиралтейства. Он был измерен в английских футах. Отправляясь мерить земные меридианы или параллели, русские геодезисты сверяли с его длиной свои мерные шесты.

Когда же понадобилось перевести длину градуса в русские аршины, это оказалось довольно трудным делом. Русский аршин равнялся полутора локтям, или четырем четвертям. В каждой четверти помещалось четыре вершка. Локоть, как мера длины, применялся в разных странах, но в каждой стране локоть был свой.

Самым большим считался вавилонский, египетский — несколько меньшим. А в России он был самым маленьким. Три русских локтя одно время составляли сажень. Потом сажень переделали в трехаршинную. Но обе эти сажени не имели ничего общего с двумя другими саженями — «косой» и «маховой».

Это создавало страшную путаницу. В одной стране дюйм равнялся длине сустава большого пальца, в другой — трем ячменным зернам, вынутым непременно из середины колоса и приставленным друг к другу острыми концами. Одни ученые сравнивали длину градуса с расстоянием от носа короля до конца его вытянутой руки. Другие считали вдоль меридиана шаги обычных смертных. Чему же в результате равнялся радиус Земли?

Сомнение в том, что так можно точно измерить земной шар, возникло еще у Пикара. Когда он привез свой шест в замок Шателе, оказалось, что за долгие годы от осенних дождей и летней жары железный туаз заржавел и стал на целых 5 линий короче.

Готовясь к отъезду в Перу, Лакондамин сам по железной полосе в замке Шателе заново изготовил два туаза. И все новые туазы сравнивали теперь с ними. Один из таких железных стержней попал даже в Россию, и им пользовался В. Я. Струве, измеряя свою дугу. Отправляясь в Перу, Лакондамин взял свой туаз с собой, а другой отдал Мопертюи, ехавшему в Лапландию. Руководителем первой экспедиции официально считался Годэн, который после окончания экспедиции не захотел возвращаться во Францию. Туаз он оставил у себя, и только через несколько лет Французской Академии наук удалось получить его назад. Но за это время полированный железный брусок превратился в ржавую, покореженную полосу металла.

Судьба лапландского туаза оказалась не лучше. На обратном пути корабль, на котором везли экспедиционный груз, затонул. Лапландского туаза, может быть, и не хватились, если бы результат измерений Перуанской и Лапландской экспедиций совпал. Но у Лакондамина и Мопертюи, как известно, сжатие Земли получилось разным. Надо было сравнить оба туаза и выяснить, одной ли мерой меряли меридиан обе группы ученых.

Пришлось нырять на дно моря за утонувшим туазом. Наконец с помощью водолазов его нашли и подняли наверх. Но можно ли было поручиться за точность куска железа, пролежавшего не один год на морском дне? Конечно, нет.

Разница в длине между ним и перуанским туазом составляла теперь $^1/_9$ линии. Это означало, что длина земной окружности, измеренная одним из них, на целых 5 километров отличалась бы от той, которая была измерена вторым.

Стало ясно, что нужна какая-то единая мера — всегда находившаяся бы под рукой, чтобы ее можно было легко проверить или даже изготовить заново, а не искать старые башмаки давно умершего короля.

Тогда Гюйгенс, изобретатель маятниковых часов, тех самых, что «сплющили» Землю, и предложил сравнивать все линейные меры с длиной секундного маятника, по его предположению, постоянной на всей Земле.

«Давайте считать футом не длину неизвестно какой ступни, а вполне определенную величину — треть той нити, на которой висит маятник, совершающий одно качание в секунду», — говорил Гюйгенс.

Сам Пикар рекомендовал сделать еще проще — сравнивать расстояния с длиной всей нити секундного маятника. Новую меру он предлагал назвать «астрономическим радиусом».

Но злополучное путешествие Рише к экватору убедило, что и эта величина непостоянна. Если бы предложением Пикара действительно воспользовались, то градус на экваторе и в средних широтах оказался бы измеренным опять разными мерами — ведь длина секундного маятника там и тут различна.

Нужна была такая мера, которая существовала бы в самой природе и была неизменной и постоянной всюду на Земле, а не становилась бы длиннее летом и короче зимой, как это происходило с французским туазом. Вот тогда-то и решили обратиться за помощью к самой Земле.

Французская Академия наук предложила взять за единицу линейных измерений 1/40 000 000 долю земного меридиана. Это и есть наш нынешний метр. И когда мы говорим, что радиус земного шара равен примерно 6 тысячам метров, то это значит, другими словами, что в радиусе Земли 6 тысяч раз укладывается кусок земного меридиана размером в 1/40 000 000 его долю. А когда мы говорим, что градус меридиана равен 100 километрам, то это означает, что на протяжении этого куска 1/40 000 000 доля меридиана поместилась бы 100 тысяч раз.

Землю, таким образом, стали мерить самой Землей.

Экспедиция Мешена и Деламбра, которая, повинуясь распоряжению Конвента, отправилась в разгар Французской революции измерять парижский меридиан, как раз и должна была определить величину этой 40-миллионной доли. Под гром пушек революционной армии, сражавшейся с врагами республики, Деламбр продвигался от Дюнкерка к Барселоне, а Мешен — навстречу ему из Барселоны.

Страна кишела заговорщиками, мечтавшими вернуть власть короля. В каждой деревне организовывались для защиты от них

вооруженные отряды, которые брали под наблюдение всю округу, вылавливая подозрительных лиц.

Мирная экспедиция ученых с трудом пробиралась по дорогам революционной Франции. Непонятный громоздкий груз и инструменты неизвестного назначения, которые они везли с собой, подробный осмотр окрестностей не раз вызывали подозрение местных жителей, которые принимали их за королевских шпионов. И редко когда ученым удавалось, по словам Деламбра, «закончить наблюдение незамеченными».

Вдобавок ко всему между Францией и Испанией началась война, и Мешен, измерявший треугольники в Пиренейских горах, был захвачен испанцами в плен.

Шесть лет понадобилось ученым, чтобы в огне сражений довести свое измерение до конца.

Метр поспешили закрепить, изготовив из платины стержень длиной в 1/40 000 000 меридиана. Он представляет собой металлический брусок — нержавеющий, не растворяющийся в кислотах и почти не расширяющийся от нагревания. На концах идущего вдоль него желоба в сантиметре от краев нанесены два тонких штриха. Расстояние между ними — это и есть 40-миллионная часть земного меридиана.

И что бы вы ни стали теперь мерить: килограмм масла, литр бензина, площадь своей комнаты или длину куска ткани — вы всегда сравниваете их с земным меридианом.

Метр стал основой всех измерений: длины, площади, объема, веса.

Позже изготовили 34 эталона, которые роздали государствам, подписавшим так называемую метрическую конвенцию. Россия получила два: № 28 и № 11. Оба эталона привезли в Петербург и здесь сняли с них несколько копий, которые находятся во Всесоюзном метрологическом институте в Ленинграде до сих пор.

Эталонами ничего не меряют. Они лишь хранят длину метра. Для этого созданы все условия. В подвалы института, где метры-хранители несут свою бесконечную вахту, не входит никто посторонний. Их оберегают от малейших колебаний температуры, давления и влажности воздуха, чтобы ничто не заставляло усомниться в постоянстве их длины.

А если такое сомнение все-таки возникает, государственный метр сравнивают с метром-свидетелем, тоже хранящим меру длины. Все же остальные метры, которыми мы измеряем градус меридиана или отрез ткани, называются рабочими. Время от времени рабочие метры проверяют по эталонам-хранителям, которые тоже изредка извлекают из подвала и везут в Париж, чтобы проверить по международному метру, который хранит эту

меру для всей нашей планеты.

Но, вправе спросить читатель, стоит ли так тщательно оберегать метр, если все равно известно, что все земные меридианы разной длины? И действительно ли наш метр равен 1/40 000 000 меридиана? А если даже и равен, то какой меридиан имеется при этом в виду?

Вопросы вполне резонны.

Сейчас выяснилось, что наш метр на 0,2 миллиметра короче 40-миллионной доли «среднего» меридиана. Поэтому стали говорить, что метр — это не 40-миллионная часть меридиана вообще, а только парижского.

Но, может быть, в будущем обнаружится, что как раз на эти 12°30′, которые промерили Деламбр и Мешен, приходится «бугор» или «впадина» геоида, и, следовательно, общая длина меридиана окажется меньше или больше, чем получилось из измерений? Что же, тогда придется заново переделывать все эталоны, подгоняя их под новый метр?

Решили сохранить старый метр. Но это не была уже настоящая природная единица измерения. Он превратился в такую же условную меру, как и знаменитый туаз. Наш метр — это просто расстояние между двумя штрихами, нанесенными на металлическом бруске.

Однако ученые не оставили заманчивую мысль связать современную меру длины с каким-нибудь неизменным образцом, заимствованным у природы. Все больше склоняются они к тому, что такой мерой может служить луч света, который уже неоднократно выручал геодезистов. Только на этот раз ученых интересует скрытая в каждом белом луче разноцветная радуга.

Стоит на пути луча поставить стеклянную призму и заставить его пробраться сквозь грани, как яркое ожерелье радуги рассыплется на красный, желтый, зеленый, синий, фиолетовый самоцветы.

Откуда они взялись? Это беспорядочный белый луч, в котором смешаны волны разной длины: и коротенькие — в полмикрона, и чуть побольше — на ходу перестроился. И волны каждой длины, сгруппировавшись, побежали своими потоками. Самые длинные из них мы видим как красные, а самые короткие как фиолетовые лучи.

Вот длину какой-нибудь «цветной волны» и предложили ученые взять в качестве природного «метра». Но как это сделать? Ведь очень редко «радуга» получается чистой. Большей частью соседние цвета все-таки немного смешиваются, и длина волны каждого из них получается различной в зависимости от того, насколько сильно они смешались. Все упиралось, стало быть, в то,

чтобы найти такой источник света, который раскладывался бы на очень чистые, без примесей цвета.

Один уже найден. Если раскалить пары металла кадмия, то они начнут светиться. И этот свет делится призмой на четыре четкие цветные линии. Удалось очень точно измерить длину световой волны каждой из них. Оказалось, что красные лучи светящихся паров кадмия имеют длину волны 0,64 385 033 микрона. Значит, в одном метре содержится примерно полтора миллиона таких волн.

Но новый «метр» еще не получил прав гражданства. Недавно нашли новые вещества, свет которых делится на еще более четкие цвета. На роль будущего эталона сейчас претендуют зеленые лучи раскаленных паров ртути и желто-зеленые газа криптона. С помощью длины образующих их волн можно будет производить все измерения в два-три раза точнее, чем сейчас.

На какую из этих волн падет выбор ученых? Время покажет. Но так или иначе, а в ближайшем будущем взамен «земельного» ученые создадут световой метр, и мы будем взвешивать и мерить не в долях земного меридиана, а в световых волнах. Пересчитывать придется все измерительные меры.

Вот какую задачу задала ученым капризная фигура Земли!

«Выкройка» земного шара

Теперь мы знаем, как измерить на Земле любое расстояние. Но на этом заботы геодезистов не кончаются.

Вы, вероятно, помните: чтобы вычислить размер Земли, необходимо еще знать координаты точек, расположенных по концам измеряемого отрезка земной поверхности. Но старые координаты «догеоидного» периода для этой цели уже не годятся. Ведь они показывают положение точки на шаре или, в лучшем случае, на эллипсоиде и поэтому сильно отличаются от ее действительных координат.

Виноват в этом обыкновенный отвес. Ведь линию горизонта, от которой считают высоту звезд, чтобы определить затем по ней широту места, находят именно по отвесу — нити любого свободно подвешенного грузика, располагающейся всегда под прямым углом к земной поверхности. Пока Земля числилась эллипсоидом, отвес считали перпендикулярным к эллипсоиду, а не к действительной поверхности Земли. На деле же он именно для нее оказывается правильным, а для эллипсоида — «косым».

Определяя положение точек на Земле по «косому» отвесу, мы вычисляем их координаты с ошибкой. Если бы отвес отклонялся самое большее на 1″, то и тогда на наших картах города смещались бы на 30 метров в сторону. Но он часто отклоняется гораздо сильнее. На Кавказе, например, даже на 45″, и тогда ошибка во взаимном расположении разных городов вырастает почти до полутора километров.

Чтобы узнать истинное положение любой земной точки, пришлось ввести новые координаты — геодезическую долготу и широту. Они отсчитываются от правильного отвеса и отличаются от географических ровно настолько, насколько в этом месте отвес отклоняется от того положения, которое он должен был бы занять, если бы Земля была эллипсоидом.

Затем определяют расстояние от точки с измеренными геодезическими координатами до соседней. Это третий пароль, без которого остается неизвестным адрес любого пункта на Земле.

Узнают его с помощью уже известных нам треугольников. От второй точки измеряют расстояние до третьей и вычисляют ее координаты. Так ниточка за ниточкой Землю оплетает сеть из невидимых треугольников, все стороны которых промерены, а адреса вершин точно определены.

Вот эта-то сеть и служит основой для определения формы Земли. И она же позволяет решить еще одну задачу — начертить «выкройку» земного шара. Ведь промерить саму круглую, сплюснутую или бугристую Землю — лишь полдела. Важно потом правильно ее начертить, чтобы по ней любой географ, геолог, инженер или просто путешественник мог наглядно представить себе тот участок планеты, который ему предстоит исследовать.

Как же изобразить промеренную, но кривую и бугристую поверхность на плоской бумаге?

Задача сводится к тому, каким образом перенести на бумагу отдельные точки земной поверхности, сохранив при этом их взаимное расположение и расстояние друг от друга. Это делают в два этапа. Вначале стремятся уложить волнистую поверхность Земли на ровном эллипсоиде. А его уже затем превращают в плоский чертеж.

Работа эта сложная и связана с неизбежными потерями точности.

Долгое время бугристую Землю как бы развертывали на эллипсоиде: стороны треугольников и углы между ними изображали на этом последнем без всяких поправок и изменений, как если бы они были измерены прямо на эллипсоиде. Но как нельзя шишковатой кожурой ореха, скажем, обернуть, не сломав

ее, гладкое ядро, так и неправильную земную поверхность невозможно распластать по эллипсоиду без искажений. Несколько близких точек как бы поселяли при этом под одним адресом, хотя на самом деле они были довольно-таки далекими соседями.

Советский геодезист Ф. Н. Красовский предложил иной способ — не развертывать, а проектировать сложную земную поверхность на эллипсоид, то есть передавать ее очертания как бы в плане. Проекции углов и сторон треугольников оказываются при этом неравными тем, которые были невидимо начерчены на самой поверхности.

Зато их действительные размеры всегда можно определить по новому адресу, в который, кроме уже известных трех опознавательных знаков — геодезической долготы, широты и азимута, входит еще один: длина проектирующего луча, то есть расстояние от поверхности Земли до эллипсоида.

Отсюда треугольники надо переселить теперь на плоскость — начертить карту Земли.

Если бы наша планета представляла собой цилиндр или конус, тогда это не составило бы больших трудностей. Достаточно разрезать по вертикали бок у цилиндра или провести ножом от верхушки до основания конуса, как они, развернувшись, легко уложатся на листе бумаги.

Но попробуйте сделать плоской кожуру от апельсина. Края ее обязательно разорвутся: ни шар, ни эллипсоид не развертываются на плоскости без разрывов или складок. Поэтому треугольники, измеренные на поверхности Земли и спроецированные на эллипсоид, переносят вначале на боковую поверхность цилиндра или конуса, а уже ее разворачивают, превращая в плоскость. Причем для большей точности переносят не все полушарие сразу, а каждую узкую полоску шириной в 3° или, самое большее, 6° на свой цилиндр. Цилиндр как бы надевают на земной шар так, чтобы он касался выбранной полоски своей внутренней стороной. Но касаться он может только середины такой полосы, а ее края загибаются круче и уходят из-под цилиндра.

Предположим, основание треугольника как раз и очутилось на этой середине. Тем самым оно уже оказывается перенесенным на цилиндр. Вершина же треугольника осталась на краю нашей полосы, ниже поверхности цилиндра: ее переносят на него, как бы поднимая по вертикальной нити, и соединяют затем с другим концом основания. Треугольник переселился с эллипсоида на цилиндр.

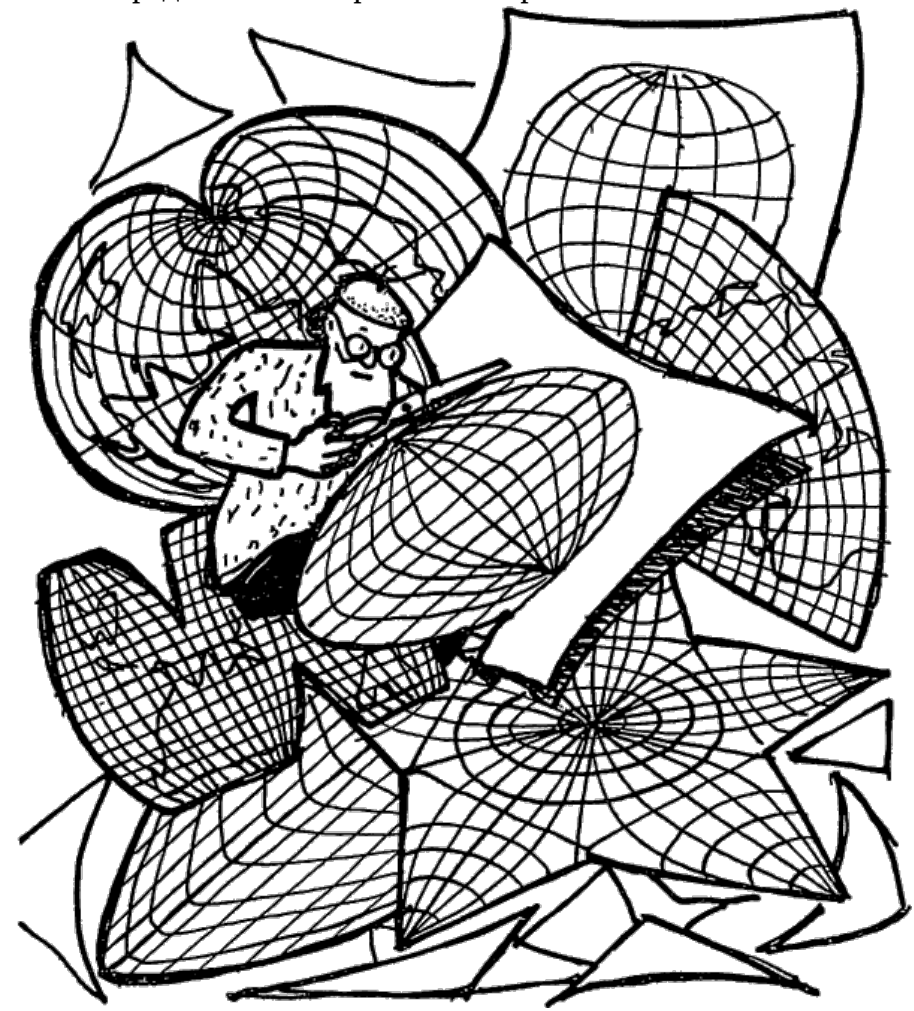
Теперь этот цилиндр «снимают» с земного шара, разрезают по вертикали и развертывают на листе бумаги. Выпуклое раньше основание треугольника выпрямилось и стало прямым. И такие же прямые линии соединяют основание с вершиной. Чертеж куска земной поверхности готов.

Иногда в качестве посредника выбирают какую-нибудь более сложную фигуру: например, многоугольник или сразу несколько конусов, совмещенных друг с другом. И тогда карты Земли принимают фантастический вид.

На одной земной шар похож на какую-то диковинную репу, на другой он напоминает чудовищный волчок. Одни картографы надрезают земной эллипсоид в нескольких местах и развертывают потом отдельные лепестки материков наподобие огромного, напоминающего звезду цветка. Другие чертят Землю в виде гигантского гриба. И это так же закономерно, как и рисовать ровные полушария, к которым мы так привыкли, или располагать материки и океаны параллельными полосами на квадратном листе. Ведь такие замысловатые формы картографы выбирают не ради прихоти: они стараются возможно вернее передать все особенности земной поверхности.

Но чем-то всегда приходится жертвовать. На одних картах пытаются правильно изобразить очертания материков и океанов, но при этом страдают их размеры. На других — сохраняют их величину, зато искажается форма.

Поэтому, несмотря на то, что предложены буквально тысячи способов изображения круглой Земли на плоскости (только в советской картографии их применяется свыше ста), ни один из них не передает вполне правильно чертеж Земли.



Все карты верно передают только очень небольшой участок поверхности планеты, самую середину, которой коснется, скажем, цилиндр, сильно искажая все, что лежит с краю. И правильные полушария так же далеки от истинного чертежа Земли, как и самый фантастический «гриб». Поэтому пользоваться картами очень трудно, и самой верной моделью Земли остается все-таки шар глобуса, хотя и он, как известно, отражает далеко не все особенности формы нашей планеты.

Откуда берутся ошибки на карте, станет понятным, если вспомнить, что на эллипсоиде мы оставили выпуклый треугольник, у которого стороны — это дуги разной кривизны, а на листе бумаги получили обычный плоский треугольник, стороны которого — прямые линии. Адрес его вершин был указан в градусах, а теперь превратился в линейное расстояние от осей x и y. Могло ли это превращение обойтись без погрешностей?

Дуги, соединяющие вершины углов треугольника на эллипсоиде, так же как и стороны обычных плоских треугольников, — это кратчайшие расстояния между двумя точками, только не на плоскости, а на выпуклой поверхности. Может показаться поэтому, что ничего страшного в подмене их друг другом нет.

Но хотя геодезические линии, как называют эти дуги, и выполняют на кривой поверхности роль прямых на плоскости, они все же не равны им по длине.

Наше представление о том, что самая короткая линия — прямая, вообще очень относительно. Если бы надо было кратчайшим путем перебраться, скажем, с подножья горы на ее склоны, то нам пришлось бы решать ту же головоломку, что и мухе из задачника, которую заставляли переползти с одной стены на другую по самой короткой дороге. Ею окажется вовсе не прямая, а ломаная линия.

Расстояния, которые мы измеряем на земной поверхности, сравнивая Землю с куском ее же самой, — это тоже «кривые» геодезические линии, а не отрезок прямой, как мы изображаем их на бумаге. Причем на разных геометрических фигурах они будут иметь разную крутизну.

На близкой к шару Земле быстрее всего можно попасть из Риги во Владивосток хотя бы, если идти по дуге большого круга. А если бы наша Земля была цилиндром, то самый короткий путь по ней пролегал бы по винтовой линии, обвивая ее жгутом.

Проектируя земные расстояния на эллипсоид, мы уже немного изменяем их — ведь проекции геодезических линий не равны по длине самим этим линиям. А выпрямляя их, мы на каждом километре, перенесенном на бумагу, теряем еще сколько-то.

Получается, что и простого расстояния на Земле не измерить и, главное, не изобразить точно, если не знать правильную форму нашей планеты.

Полнота же наших знаний о форме земной поверхности зависит от возможностей, которые дает сам метод триангуляции. Сеть треугольников с большими или меньшими трудностями может быть построена на материке. Но вот геодезисты пересекли

материк и вышли на берег океана. Как перебросить цепочку треугольников через бесконечные водные просторы? Где в безбрежном океане найти устойчивое основание для очень чувствительных геодезических приборов, чтобы промерить углы и стороны?

И геодезисты поворачивали назад — в глубь континента. Так и получились на геодезических картах огромные «белые пятна» непромеренной поверхности планеты.

Тогда-то и решили призвать на помощь Луну.

Лунный «мост»

О необычайном геодезическом «инструменте» стали все чаще появляться статьи в научных журналах. Автором их был старейший наш исследователь фигуры Земли член-корреспондент Академии наук Александр Александрович Михайлов. Он рассказывает об интересных опытах с Луной и ее тенью.

Да, да, тенью! Вначале думали измерять расстояния между отдаленными городами или даже материками именно лунной тенью.

Во время полных солнечных затмений, когда Солнце загорожено от Земли Луной, на земную поверхность падает длинная лунная тень. След от нее тянется обычно на 10–12 тысяч километров, пересекая нередко океан. Концы тени попадают при этом на материки. Такой лунный «мост» и навел на мысль попробовать определять с его помощью расстояния между материками.

Двигаясь по своей орбите, Луна уносит за собой свою тень. Кроме того, сама Земля, вращаясь, подставляет под нее все новые и новые места. Поэтому лунная тень скользит по поверхности Земли.

Скорость бега самой Луны известна ученым. Каждую секунду она проходит по своей орбите примерно один километр. С такой же быстротой бежала бы по Земле и ее тень, если бы она падала отвесно, а сама Земля была неподвижной. Косо проецируясь на Землю, лунная тень должна двигаться быстрее. Но зато земной шар вращается в ту же сторону, куда перемещается тень Луны, как бы «подвозя» ее по пути.

Астрономы подсчитали, что в итоге лунная тень движется по поверхности Земли со скоростью примерно 560 метров в секунду. Когда передний ее край коснется, например, Европы, там

наблюдается начало солнечного затмения. А противоположный край тени в это время уже сползает с берегов Америки, и там затмение кончается.

Определив начало и конец затмения на концах лунного моста и скорость его передвижения, узнают длину моста — расстояние, которое пробежала за это время тень по земной поверхности.

В мае 1947 года лунной тенью попытались измерить поперечник Атлантического океана между Южной Америкой и Африкой. Одна экспедиция отправилась в Бразилию и наблюдала здесь начало затмения. Другая же группа ученых находилась на территории Золотого Берега, там, где сейчас расположена республика Гана, и «ловила» его конец.

Расстояние от Американского материка до Африки с помощью лунной тени было определено с ошибкой всего в 200 метров. Это доказало, что «космическая рулетка» вполне могла бы применяться в геодезии.

Чтобы точнее уловить момент, когда Луна полностью

загораживает от нас Солнце, затмение снимают на кинопленку; причем время съемки каждого кадра записывается на той же ленте. Затем сравнивают кадры и отбирают тот, на котором схвачено начало или конец затмения.

Иногда вместо фотографирования начала и конца затмения определяют интенсивность света, который посылает на Землю еще не закрытый Луной кусок Солнца. Момент наибольшего ослабления света на фотоэлементе и есть начало затмения.

Но полные солнечные затмения происходят редко, и, стало быть, даже не каждый год представляется случай для таких наблюдений. А когда представится — лунный мост оказывается переброшенным совсем не там, где это нужно геодезистам, и его невозможно передвинуть.

Если же все условия даже благоприятствовали, измерения эти нельзя повторить и, значит, проверить, так как лунная тень отличается таким же непостоянством «характера», какое приписывается самой ее обладательнице. Тень Луны, например, никогда не пройдет по тем местам, которые уже «посетила» хоть раз.

Поэтому в конце концов наблюдать решили не солнечные, а звездные затмения — так называемые «покрытия звезд» Луной. Их можно наблюдать хоть по нескольку за одну ночь, и притом повсюду на земном шаре.

Чтобы определить, сколько продолжается затмение звезды, достаточно сфотографировать кусок неба с Луной и окружающими звездами. Но это не так уж просто.

Трудность в том, что Луну надо продержать перед объективом в течение десятых долей секунды, а звезды — несколько десятков секунд. И пока будут фотографировать звезды, Луна успеет отодвинуться и уйти из кадра.

Директор Пулковской обсерватории А. А. Михайлов предложил фотографировать Луну и звезды поврозь — примерно так, как поступают кинематографисты, когда им надо снять сложный кадр. Они снимают вначале одного актера, закрыв фон непрозрачной черной маской. А потом маска перекочевывает на место актера и закрывает его, а на оставшееся пустое поле около него снимают водопад, предположим, в котором по воле сценариста оказался герой фильма. И зритель видит актера среди бушующих водоворотов. Этот способ так и называется «блуждающей маской».

В нашем случае «актером» является полуночная красавица Луна. Астрономы закрывают ее маской — непрозрачным экранчиком — и фотографируют одни звезды. Потом маской прикрывают звезды и снимают главную героиню.

Чтобы проверить, насколько звездные затмения точнее солнечных позволяют измерять расстояния на земной поверхности, в США в конце 1949 — начале 1950 года наблюдали такое затмение из двух разных городов, расстояние между которыми было хорошо известно из наземных измерений. Оказалось, что Луна ошиблась всего на 10 метров. Новый способ оказался гораздо точнее первого.

Но у него были свои недостатки. И довольно существенные.

Дело в том, что наблюдать, как звезда заходит за Луну, удается только, когда край Луны темный, то есть в течение двух недель между новолунием и полнолунием. Появление же звезды у противоположного края, даже если он и темный, всегда происходит неожиданно и отмечается наблюдателем с опозданием.

Если же край лунного диска светлый, то заметить спрятавшуюся или появившуюся из-за него звезду почти невозможно. В соседстве с яркой Луной слабый звездный блеск не обнаружить даже «глазу» фотоэлемента, который гораздо зорче человеческого.

Другая беда заключается в том, что измеренные расстояния получаются не в метрах, а в долях земного радиуса. Происходит это оттого, что и скорость вращения самой Земли и быстрота бега Луны вокруг Земли, из которых, как уже говорилось, получают скорость лунной тени, зависят от длины земного радиуса и вычисляются на основе его величины. Ведь любая точка на поверхности Земли или Луна вращается медленней или быстрее в

зависимости от того, как далеко от центра Земли она совершает свое путешествие.

Получается настоящий заколдованный круг. Мы вычисляем размеры Земли, исходя из самих же этих размеров. И поскольку мы их знаем лишь приблизительно, то с помощью лунной тени и не можем узнать точнее.

Поэтому от ее услуг все же пришлось отказаться. Решили обратиться за помощью к самой Луне: заставить ее находить адреса вершин треугольников.

Как же это возможно?

Обычно, исходя из того, что Луна вращается вокруг центра Земли, ее положение определяют именно относительно этого центра. Координаты Луны и обозначают ее расстояние до центра Земли и направление, в котором этот центр находится. Их можно вычислить по формулам.

Но в этих расчетах Земля принимается за сжатый эллипсоид. Поэтому, если мы станем определять те же координаты Луны с поверхности действительной Земли, они окажутся несколько иными. Разница будет зависеть от того, что действительная поверхность Земли выше эллипсоида или ниже его и, значит, находится дальше от центра Земли или ближе к нему, а также от того, что отвес в месте наблюдения может отклоняться на некоторый угол от перпендикуляра к эллипсоиду.

Другими словами, разница между вычисленными и определенными из наблюдений координатами Луны зависит от длины действительного радиуса Земли в точке наблюдения и от величины отклонения отвеса на действительной Земле по сравнению с теоретическим эллипсоидом, то есть от геодезических координат той точки земной поверхности, в которой ведутся наблюдения.

Так, сравнивая вычисленные и действительные координаты Луны, можно определить адреса множества точек на Земле: например, все тех же вершин треугольников. Это позволило бы создать на всем земном шаре единую геодезическую сеть, с помощью которой, как мы знаем, теперь определяют форму и размеры Земли.

Но изменчивая Луна все-таки подвела ученых. Она оказалась прежде всего слишком неровной. Само понятие «диск» Луны довольно относительно. Ее извилистый край покрыт такими зазубринами (нередко эти лунные горы выдаются над ее поверхностью на 4 километра и больше), что ученым пришлось даже составить специальную карту «лунного профиля». Зубцы очень мешают наблюдениям.

Нелегко вычислить и сами координаты Луны — ведь

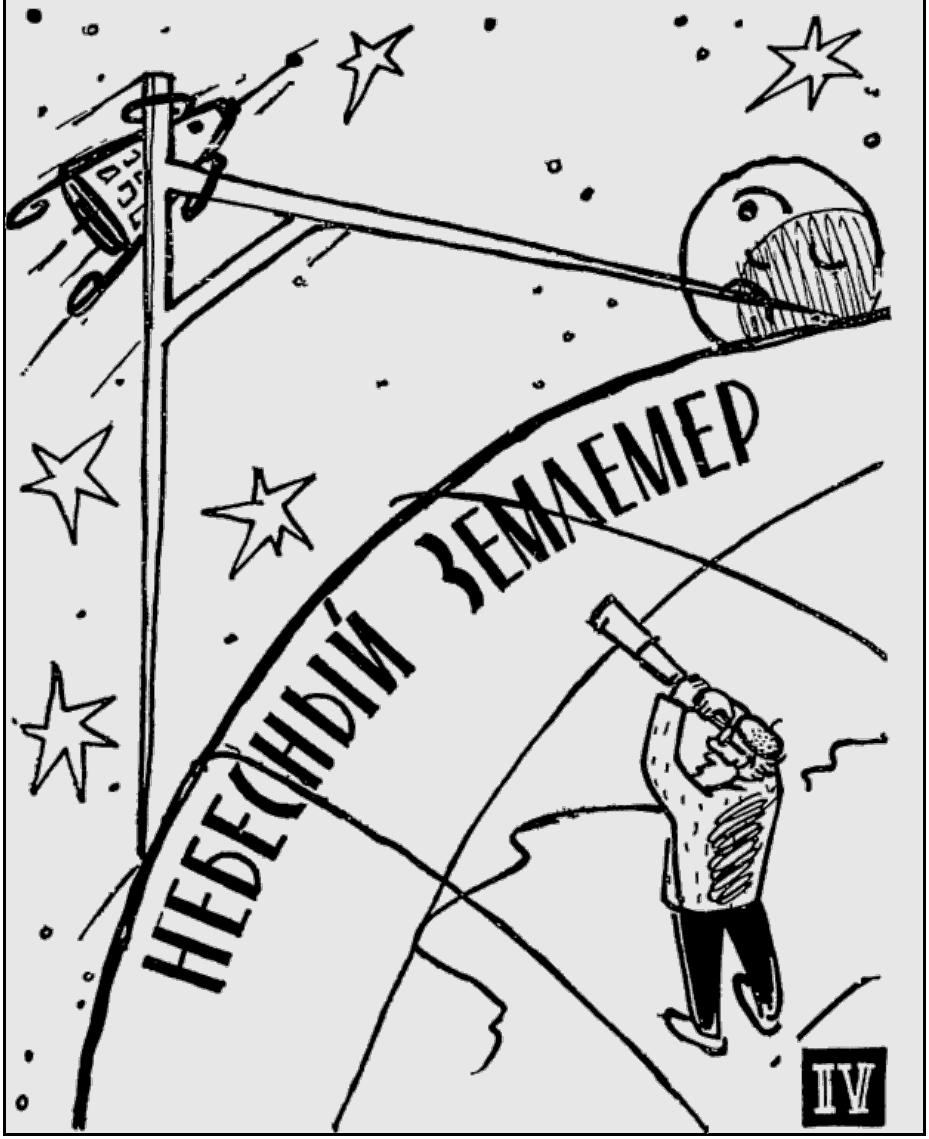
определяют положение не всей Луны, а ее середины. Но попробуй найди эту самую середину, когда Луна в телескоп видна не круглым диском, а этакой неровной заплатой.

Вдобавок ко всему Луна не висит неподвижно, а все время как бы слегка покачивается, и ее диск не остается одним и тем же по величине.

И потом очень уж далеко находится эта «рулетка». Если даже удастся преодолеть трудности при наблюдении, можно ли будет определять ее положение с достаточной точностью? Не так-то просто уследить, как движется измерительный прибор, находящийся за 380 тысяч километров от Земли. Ученые подсчитали, что ничтожнейшая ошибка в определении места Луны на небе впоследствии, при вычислении взаимного расположения точек на земной поверхности, увеличивается в 60 раз.

Но зато от всех этих недостатков свободна искусственная луна, созданная человеком.

IV
Небесный землемер



Луна, сделанная на заводе

Девять братьев в солнечной семье планет, девять разных, непохожих миров.

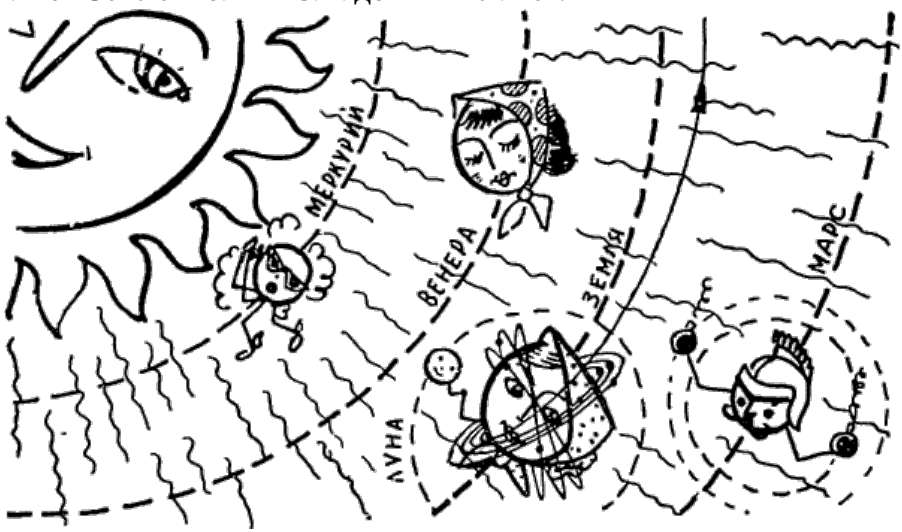
Быстрее всех движется самый близкий к Солнцу Меркурий.

Странный мир, где на одной стороне — вечный день и вечное лето, а на другой — бесконечная холодная ночь. Громадное незаходящее Солнце — жгучее, палящее, своим нестерпимым жаром испепелило бы любую жизнь, осмелься она появиться в такой близи от него. Словно наказанный за смелую попытку стать ближе всех к Солнцу, он обречен быть мертвым — этот двойник нашей Луны.

Закутанная в облачные покрывала, как бы стараясь спрятаться от палящих лучей, путешествует вокруг Солнца красавица Венера — самая яркая из всех планет солнечной семьи.

Венера и Земля — планеты-близнецы: таким же ровным голубоватым светом сквозь полупрозрачную пелену облаков, если смотреть на нее с другой планеты, светит и наша Земля.

А еще дальше вычерчивает свою траекторию кроваво-красный Марс, цветом напоминающий отблеск пожаров, одна из близких к нашей Земле и самых загадочных планет.

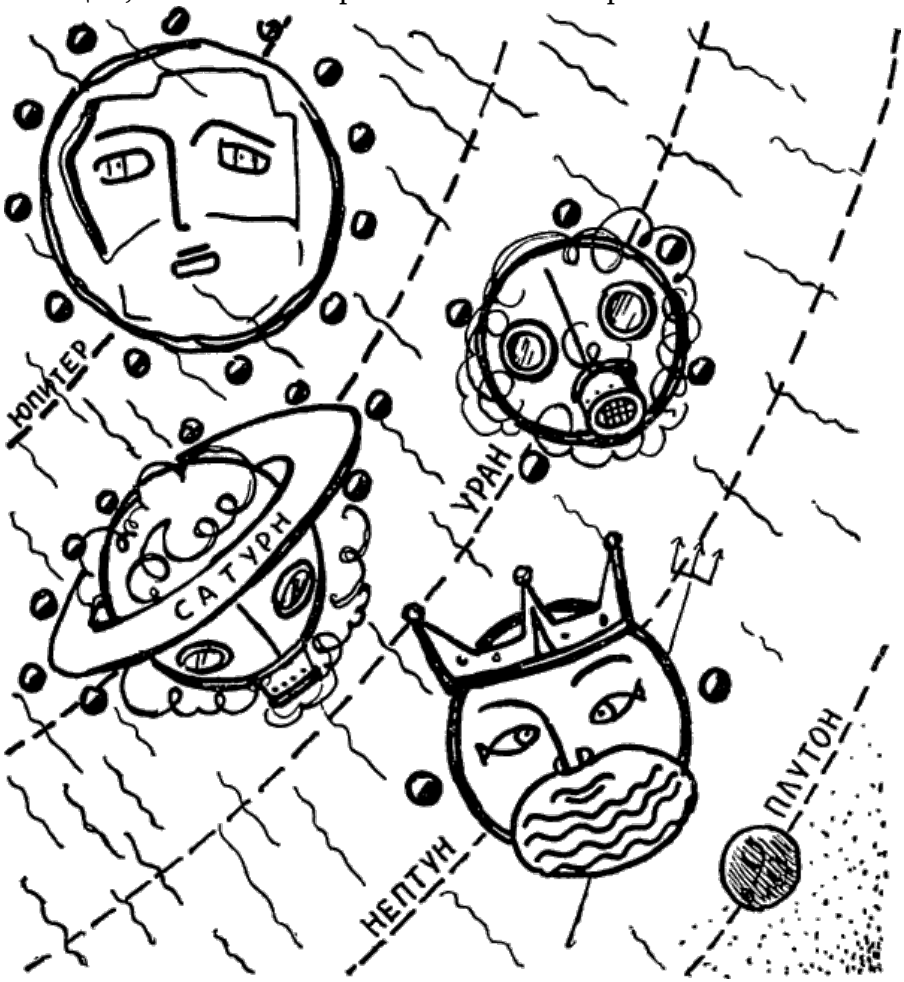


Громадный, величественный Юпитер, медленно перемещающийся среди звезд, совсем не похож на своих собратьев. Он скорее сродни самому Солнцу — массивный, могучий. На нем не меняются времена года: там всегда холодно, и один год длится двенадцать земных лет.

До Сатурна лучи Солнца уже едва достают. От этого он кажется совсем тусклым и мрачным. Тяжелые ядовитые облака из метана и аммиака пронизывают его атмосферу и атмосферу его близнеца Урана — одной из самых далеких от Солнца планет.

Дальше находятся только Нептун и Плутон. Света и тепла они получают от Солнца в тысячи раз меньше, чем Земля. Этих жалких остатков хватает лишь на то, чтобы подогреть холодные планеты всего на несколько десятков градусов выше абсолютного

нуля — температуры окружающего мирового пространства. Темная ледяная пустыня вокруг, и на них самих — мрачный, зловещий, лишенный и признаков жизни мир.



Из всех девяти планет только Меркурий, Венера и Плутон не имеют спутников. У Марса их два: Деймос — «Ужас» и Фобос — «Страх». Столько же попутчиков у Нептуна. Зато Уран движется в сопровождении пяти, а Сатурн — даже девяти попутчиков.

Юпитер же и тут превзошел всех: вокруг него вращается двенадцать «карликов», из которых некоторые даже больше такой самостоятельной планеты, как Меркурий.

И лишь нашу Землю в ее беге вокруг Солнца сопровождает всего одна спутница — Луна.

9 больших планет и 31 спутник — единый незыблемый механизм. Такой создала природа нашу солнечную систему.

Безостановочно крутится этот слаженный механизм — такой четкий и отработанный, что, кажется, в нем невозможно ничего изменить без того, чтобы не нарушить его ритмичный ход.

В семье девяти планет Солнце всемогуще. Это оно заставляет их двигаться, темные холодные глыбы превращает в яркие светила, на одних рождает жизнь, а другие делает мертвой пустыней. Здесь все совершается по его «воле» и зависит от его «настроения». Даже могучий Юпитер, сам подобный Солнцу, беспрекословно слушается его.

И вот человек заставил небесные тела потесниться, принять новых членов в свою семью. Вначале искусственные спутники — первый, второй, третий, затем искусственная планета, разрезав предрассветную тьму, ушли в космос. У Земли прибавилось спутниц, а в солнечной системе стало на одну планету больше.

Так что между Землей и Марсом движется теперь искусственное небесное тело, склепанное из обычных кусков металла и в то же время столь сильно похожее на соседей по небу, что не верится, будто оно и впрямь сделано на заводе. Новая планета — со своим «характером», зависящим от ее места под Солнцем.

А небо около Земли опоясывает новая луна. Лохматое, пылающее, не загороженное воздушным покрывалом, Солнце кажется с искусственного спутника зловещим. Беспощадно нагревает оно новую луну. Спрятавшись же от его жгучих лучей в земную тень, спутник погружается в ледяную черную бездну. Новое небесное тело — новый, не похожий на наш мир.

Пусть искусственные луна и планета микроскопически малы по сравнению с настоящими планетами и их спутниками. Пусть их появление не изменило протоптанного устойчивого пути ни одной из старых планет, и даже на движении естественной Луны появление соперницы не сказалось никак, все равно — это победа человека, равной которой он еще не одерживал никогда.

Впервые за все существование солнечной системы в едином ритме с 9 планетами и 31 их спутником стали вращаться небесные тела, построенные по чертежам на Земле. И это никогда не перестанет поражать воображение.

Не было более смелой и более дерзкой мечты у человека, чем эта: оторваться от Земли и отправиться в увлекательное путешествие по неведомым глубинам космоса. Еще совсем недавно про космические полеты можно было прочесть только в фантастическом романе. А сейчас о том же, как о свершенном, в скупых строках сообщает газета.

Первый земной предмет, послушный воле людей, покинул пределы Земли и движется в пространстве. Человек вступил в состязание с могучим соперником — Солнцем. Вот что стоит за короткой фразой: запущено искусственное небесное тело.

С самим тем фактом, что у планеты, на которой мы живем,

теперь не одна Луна, мы сжились довольно быстро. Уже как нечто само собой разумеющееся прочитываешь привычное газетное сообщение: «На сегодня искусственный спутник Земли совершил… оборотов вокруг Земли…» До мельчайших деталей знакомы очертания новых спутников, и фотографии искусственной луны так прочно заняли свое место в технических книгах, что кажется, они всегда и были тут, рядом со снимками ракет и современных самолетов. И все-таки каждый раз, как возвращаешься мыслью к тому, что новое небесное тело создано на Земле, снова и снова поражаешься необыкновенному превращению простого металлического шара или конуса в это самое небесное тело.

Только что он был простым грузом, помещенным в ракете и движущимся вместе с ней. Но вот защитный кожух, прикрывавший его, слетел, толчок — и бывший пассажир двинулся в самостоятельный путь вокруг Земли. Теперь он уже искусственный спутник.

А что, собственно, изменилось? Как был внутри ракеты металлический шар или конус, внешне ничуть не похожий на обычные планеты, таким он и остался. Так почему же, спрашивается, это — «луна», а не «само-», «верто-» или еще какой-нибудь необыкновенный «лет», совершающий кругосветное путешествие вокруг Земли?

Разгадка заключается в самом способе его полета. С этим способом полета связаны и все планы использования спутника для измерения Земли.

Что случилось в тот момент, когда кусок металла вытолкнули из ракеты? Почему он не упал вниз на Землю, как падает на нее любой другой предмет, если у него нет опоры, а, лишенный какого бы то ни было двигателя, обрел удивительную способность летать сам собой?

Никому не придет в голову спрашивать: на чем держится и почему движется — хотя бы про саму Землю или настоящую Луну. Вопросы эти решены еще на заре астрономии, и правильный ответ на них усвоен каждым с азами школьной науки. Но законам небесной механики подчиняются лишь далекие, разбросанные в космосе планеты.

У нас же, на Земле, чтобы заставить какой-нибудь предмет перемещаться, обязательно надо его все время толкать, двигать. А если уж он оторвался от Земли, то, чтобы не упасть, должен опираться на что-нибудь — пусть хоть на невидимый и почти невесомый воздух. Как самолет, например.

И невольно все эти земные законы мы прилагаем к движению созданного на Земле спутника, хотя, как только тот вылетел из

ракеты, он уже стал обитателем космического мира, где главным двигателем всех тел является тяготение — то самое тяготение, которое придает могущество Солнцу, делает его властелином нашей планетной системы.

Создав самолеты, вертолеты и другие летающие машины, человек победил воздух: заставил его удерживать предметы, которые гораздо тяжелее самого воздуха. А запустив искусственный спутник, он одержал победу над тяжестью — этой вездесущей «гирей», с чудовищной силой придавливающей, привязывающей все земные предметы к нашей планете.

Разорвав невидимые путы тяжести, сделавшей нас пленниками Земли, человек заставил ее вращать новое небесное тело. И в этом его вторая большая победа, заключенная все в тех же немудреных словах: запущен искусственный спутник.

Нелегко досталась эта победа. И не потому, что трудно было создать само небесное тело. Для полета решающего значения устройство этого тела не имеет. Вот почему так отличаются по конструкции первый советский искусственный спутник от второго, а второй — от третьего.

Чтобы стать небесным телом, спутник вовсе не должен быть носителем каких-то необыкновенных, неземных качеств. Важно лишь, чтобы он обладал весом, то есть был подвержен действию силы земного притяжения.

И тогда ему не понадобятся крылья-упоры и мотор-двигатель. Из всех летных качеств для него важно лишь одно: не оказывать большого сопротивления встречному воздуху, не мешать полету, то есть быть по возможности обтекаемым.

Но зато, чтобы стал возможным сам полет без крыльев и без мотора, спутник надо забросить очень высоко — туда, где он сможет «потягаться» силой с коварной тяжестью. Суметь забросить будущий спутник на сотни километров ввысь от поверхности Земли — к этому и свелась задача создания нового небесного тела.

Решить ее удалось, лишь когда был создан специальный транспорт, которому оказалось по силам доставить собранный на заводе металлический кожух с аппаратурой со дна воздушного океана почти к самой его поверхности.

И не просто доставить, но и сообщить этому куску металла огромную — космическую — скорость, чтобы он успел сильно разогнаться, прежде чем тяжесть властной рукой начнет прижимать его к Земле.

Таким космическим перевозчиком стала ракета.

Рев газов, вырвавшихся при старте из сопла ракеты и оттолкнувших ее с колоссальной силой от поверхности Земли,

возвестил о начале неслыханного единоборства крохотного пигмея и могучей, не знавшей поражений тяжести. Ураганную силу сопротивляющейся атмосферы выслала она навстречу вонзившемуся в воздушную толщу космическому кораблю. Такой эфемерный на вид воздух стал твердым и плотным, как сталь, когда посланец человека попытался его пробить.

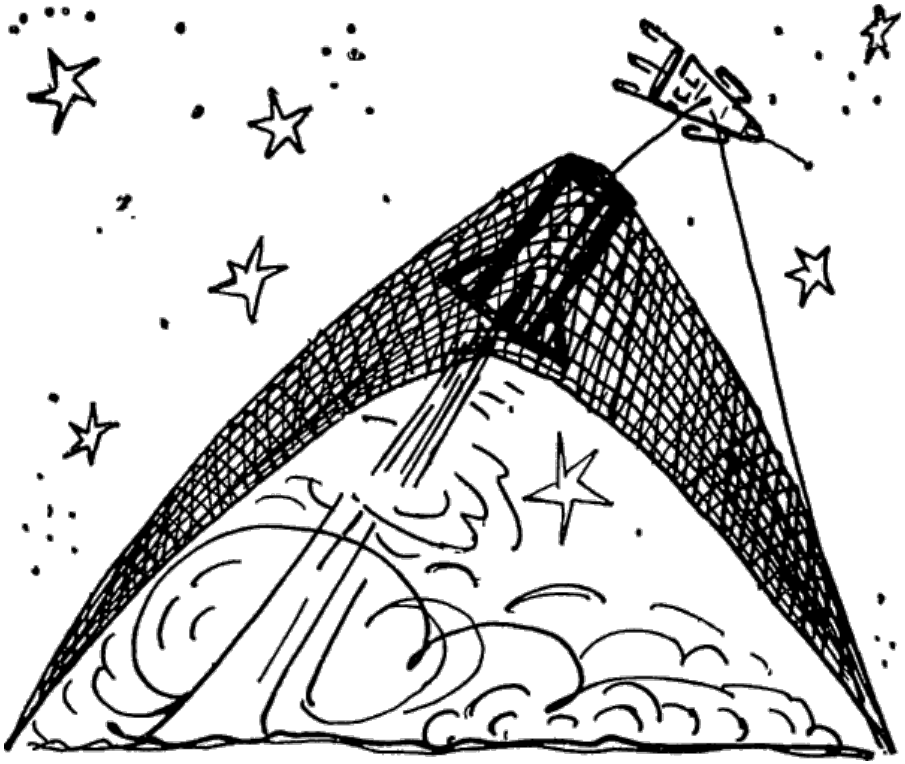
В сто крат усилила тяжесть свою мощь, тысячепудовыми гирями повиснув на стремящейся уйти, избавиться от ее власти ракете. Но послушная непоколебимой воле человека ракета, как только тяжесть начала пересиливать, избавилась от излишков груза. Вместе с первым двигателем отброшены пустые резервуары из-под израсходованного горючего, корпус корабля стал легче, взревел второй мотор, и новым рывком ракета вырвалась вперед.

Ослабев в этой неравной схватке, растратив запасы горючего, казалось, готовая сдаться и покорно вернуться на Землю, опять и опять получала ракета подкрепление от человека, предусмотревшего все этапы борьбы, до капли рассчитавшего силы врага.

Покорная его желанию, становилась легче ракета, подбрасывал ее вверх новый, в нужную минуту включавшийся мотор, и отступала никогда не отступавшая раньше тяжесть.

Рывок — и нужная высота достигнута. Металлический шар освободился от ракеты и помчался дальше один. Ракета выполнила свою задачу: она доставила груз на «безопасную» высоту и передала ему всю накопленную во время разбега скорость. Последнее, что заставил ее сделать человек, — это толкнуть отделившийся от нее груз. Подброшенный в момент освобождения, металлический шар помчался еще быстрее, чем летела ракета.

Слабеющая рука тяжести в последнем усилии дотянулась до куска металла, заброшенного человеком в космическую высь, и он — не в силах ни улететь прочь, ни упасть вниз — стал вращаться вокруг Земли. А это и надо было человеку. Бессильная тяжесть сдалась и послушно двигала, заставляла лететь машину без крыльев и без мотора.



Мертвый металлический груз стал небесным телом, живущим своей самостоятельной жизнью. Распрямились усы антенн, и вниз, на далекую, закрытую облаками Землю полетело «бип-бип-бип» — первый рапорт о том, что увидел и услышал новый житель космической страны.

«Спутник вышел на орбиту», — записали в журнал наблюдений принявшие этот рапорт советские ученые. И, раскрыв утром газету, мы прочли: «Вчера, 4 октября 1957 года, в СССР произведен успешный запуск искусственного спутника…» И дальше — вес, размер, высота полета — обычные, такие прозаические сведения, как будто речь шла не о новом небесном теле, а всего лишь о каком-то земном механизме.

Спокойными, уверенными словами, как будто и не могло быть сомнения в исходе этой титанической борьбы, в победе человека — такого маленького и слабого, когда представишь космические масштабы схватки, и столь сильного, если судить по ее итогам.

Могучим делает его знание, мудрость, накопленные не одним поколением людей. Знания, которые смогли воплотиться в реальные дела лишь в стране самой передовой техники. Как запустить искусственный спутник, знали ученые и раньше. Но осуществить этот дерзкий замысел оказалось по силам только советским людям. Победа творческого разума, победа советской

науки — третья удивительная победа, к которой нельзя оставаться равнодушным, читая короткое сообщение о запуске искусственного спутника.

Итак, спутник не падает, а летает. Летает потому, что его притягивает Земля, точно так же, как планеты движет мощное притяжение Солнца. И все-таки просто сказать, что он не падает, нельзя.

Он только и делает, что падает, как непрерывно падает на Солнце сама наша Земля и все остальные планеты. Но так же, как и они и как естественная Луна, он не может упасть. Мешает то, что он при этом движется вперед.

Если тот же наш искусственный спутник просто забросить в космос и там его остановить, то он вовсе и не стал бы спутником Земли, а немедленно упал вниз, как упали бы на Солнце все планеты, если их вдруг лишить возможности двигаться.

Пока они движутся, инерция — та же самая, которая упрямо отклоняет вас назад, когда водитель трогает трамвай вперед, только в миллионы раз более сильная, — задерживает их, не дает им падать на Солнце. На сколько Солнце притянет планету, а планеты — своих спутников, на столько же инерция протащит их вперед. Вот и получается, что планеты и спутники все время падают, но это падение никогда не кончается. Спутники и планеты как бы подвешены на невидимой опоре. Вот почему сказать, что спутник ни на чем не держится, тоже нельзя.

А что, если вдруг исчезнет эта вездесущая тяжесть, если Солнце и планеты лишатся способности притягивать? Вся солнечная семья тут же разрушится, разлетится в разные стороны: спутник помчится прочь от Земли, а Земля — прочь от Солнца.

Получается, как это ни парадоксально, что та же тяжесть, которая заставляет спутник двигаться вокруг нашей планеты, служит ему и опорой, поддержкой в пространстве. Та самая ньютонова сила тяготения, которая заставляла галилеев камень всегда возвращаться на Землю, а заброшенный до Луны превращала в саму Луну, тоже падающую, но уже не могущую упасть на Землю.

Казавшаяся пригодной разве лишь для доказательства тождества «земной» и «небесной» тяжести полумечта-полуфантазия Ньютона! Помните: забросить бы галилеев камень так далеко, чтобы он превратился в кеплерову Луну… А ведь запустить искусственный спутник — это и значит закинуть земной предмет в такую высь, чтобы он уже не смог вернуться на Землю.

Вот почему контейнер с приборами, движущийся в космосе вокруг нашей планеты, — это не какой-то необыкновенный

летательный аппарат, а всего-навсего «камень», превратившийся из-за дальности в небесное тело — искусственную луну, подчиняющуюся закону всемирного тяготения Ньютона.

К самому тяготению, к тому, как оно заставляет двигаться небесные тела, можно было бы, пожалуй, и не возвращаться еще раз, если бы история, рассказанная в начале книги, не имела продолжения.

Почему тяжесть сильная

Звон разбитого стекла, словно разрезавший лабораторную тишину, заставил ученого вздрогнуть: опять кто-то открыл дверь. Сколько раз он просил не входить во время опыта! Если уж нельзя научиться быть аккуратным, то нечего и браться помогать в столь тонком эксперименте. Так и есть: испуганный этим неожиданным резким звуком, он нечаянно качнул сосуд, и теперь блестящая непрозрачная жидкость едва заметно колебалась.

Он раздраженно выглянул в коридор. Но там никого не было. «Очевидно, ветер», — уже спокойнее подумал профессор. Он явно нервничал. Впрочем, это не мудрено. Если бы ему предстояло сражаться с таким вот обыкновенным сквозняком… И он привычно, как всегда теперь, если ему случалось столкнуться с ветром, мысленно восстановил ясную до мельчайших деталей картину.

Вот ветер с размаху толкнул дверь, «дзинк!» — зазвенело выбитое стекло. «Дзинк!» — этот резкий высокий звук с силой толкнул ближайшие молекулы воздуха и, как по клавишам, стремительно побежал по ним; ближние молекулы подтолкнули соседние, те передали толчок дальше, пока, наконец, самые дальние упруго толкнулись в уши профессора: «Дзинк!» Он сердито обернулся: опять раскрыли дверь.

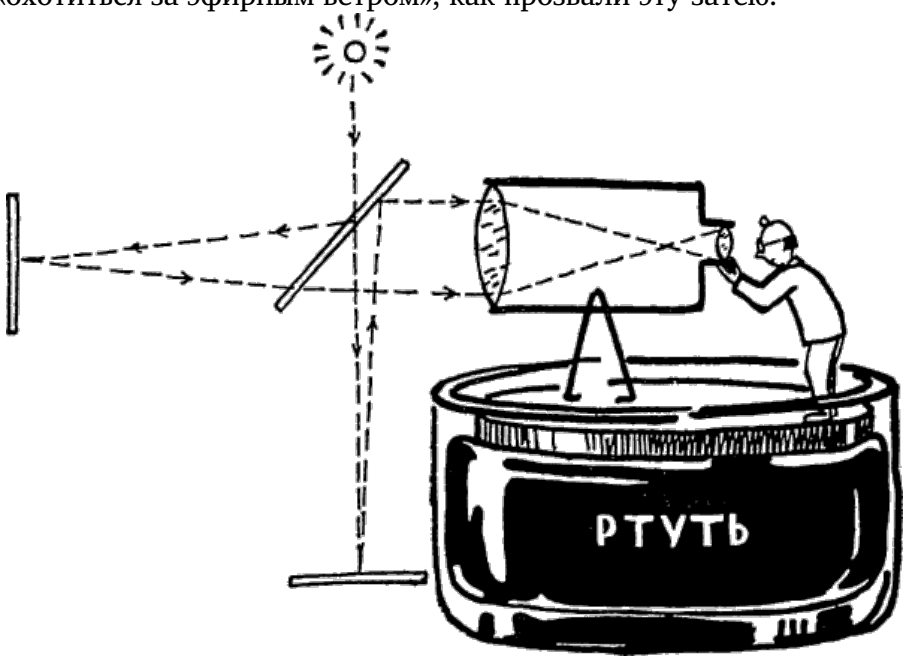
Да, все было именно так. Коридор только кажется пустым. В действительности он весь пронизан, забит молекулами воздуха. Ведь если бы их не было, он не услышал бы звона разбитого стекла. Звук не может распространяться в пустоте, где ничего нет. Так же, как, впрочем, и тяготение… А этот упрямец Ньютон еще утверждал, что его сила тяготения достает до любого, даже самого далекого предмета мгновенно, неизвестно как проскочив через разделяющую их пустоту мирового пространства. И это было, конечно, самым уязвимым местом его теории.

Сейчас большинство ученых считало, что между всеми

телами — этими «сгустками материи» — находится не ньютонова пустота, «абсолютное пространство», как он говорил, а некая промежуточная, невидимая простым глазом среда. Через нее-то тела и тяготеют друг к другу. Подобно звуку, путешествующему по мельчайшим частицам воздуха, притяжение Солнца, вероятно, передается Земле через крошечные зерна «эфира», заполняющего пространство между ними.

Профессор Майкельсон еще раз оглядел лабораторию. Блестящая, похожая на расплавленный свинец жидкость, налитая в большой сосуд, уже успокоилась. Да, это он правильно придумал — поместить свой прибор на массивной плите, плавающей в ртути. Его помощник возился с фонарем, регулируя силу света.

Фонарь, два зеркала для отражения света, прибор для расщепления светового луча и плавающий приемник, где оба пучка света должны были вновь соединиться, — вот, собственно, и все нехитрые приспособления, с помощью которых он решил «охотиться за эфирным ветром», как прозвали эту затею.



Многие его современники находили, что между распространением звука в воздухе и света в эфире много общего. Но звук, как известно, быстрее доходит до нас, если распространяется по ветру, а не против него. Точно так же свет от какого-то источника, находящегося восточнее нас, должен казаться нам распространяющимся быстрее, так как, двигаясь вместе с Землей вокруг оси, мы его как бы нагоняем. А свет от фонаря, расположенного западнее наблюдателя, должен

настолько же отставать, так как он мчится нам вдогонку. Все это, разумеется, в том случае, если существует пресловутый эфир, служащий переносчиком света, но сам неподвижный.

Эфир для света то же, что воздух для звука. А движение нашей планеты сквозь эфир и влияние, которое оно оказывает на распространение света, аналогично действию ветра на скорость перемещения звука в воздухе. Обнаружить этот «эфирный ветер», то есть измерить разницу в скорости света от западного и восточного фонаря, и задумал американский ученый. Если добавить, что возможная разница должна составлять не больше миллионной доли нормальной скорости света, то станет понятно, за какую труднейшую задачу он взялся.

Разумеется, и речи не могло быть о том, чтобы действительно измерить такую микроскопическую величину. Можно было считать победой, если бы удалось хотя бы заметить само отставание света. С этой целью профессор Майкельсон и расщепил световой луч на две части, заставив их двигаться поврозь: одну с запада на восток до зеркала и обратно, другую с юга на север до такого же зеркала.

Если «эфирный ветер» существует, то первый луч, движущийся вслед за нами, отстанет. Будучи вновь соединены, оба луча не совместятся точно. А чтобы избежать всяких посторонних колебаний или толчков, могущих исказить результат наблюдений, ловушку для поимки «эфирного ветра» и поместили на густой ртути.

Итак, все было готово для необычного эксперимента. Майкельсон взглянул на секундомер и кивнул своему помощнику. Тот включил фонарь, первый луч света скользнул к зеркалам. Еще секунда, другая — и в ловушке забьется, сдвигая отражение лучей, не давая им соединиться, таинственный «эфирный ветер»…

Но прошло несколько часов, а все оставалось по-прежнему, без изменений. Один за другим расщеплялись и вновь соединялись световые лучи, но как ни поворачивал свою ловушку Майкельсон, то на восток, то на север, то на запад, — ни один из них не отстал и не забежал вперед, как будто и не было вовсе никакого «эфирного ветра».

В течение многих лет упорно повторял профессор Майкельсон свой точно рассчитанный опыт, в котором даже самые отъявленные скептики не могли обнаружить никакого просчета. Такую же неудачу потерпели и другие, не менее остроумные попытки обнаружить «эфирный ветер».

И когда многократно повторенный эксперимент дал все тот же результат, профессор Майкельсон заявил, что никакого

«эфирного ветра» нет в природе, как не существует и самого эфира. Это было в 1929 году.

Как же распространяется тяготение, через что тела притягивают друг друга? Ясно было только одно: ни загадочная ньютонова пустота, ни столь же сомнительный эфир не могли быть посредниками во взаимодействии тел.

Во времена Ньютона был известен только один способ действия на расстоянии — это притяжение под влиянием силы тяжести. Теперь обнаружено, что притягивать друг друга могут также тела, обладающие электрическим или магнитным зарядом. А совсем недавно и у внутриатомных частиц открыта такая же способность, проявляющаяся благодаря особому — ядерному — заряду.

Современная физика объясняет удивительную способность, позволяющую силе тяжести, магнитным, электрическим и ядерным силам действовать через громадные расстояния, тем, что между телами, порождающими эти силы, возникает особый вид материи — поле.

Если два тела заряжены электричеством или намагничены, между ними возникает соответственно электрическое или магнитное поле. Между отдельными частицами ядра атома возникает ядерное поле. Гравитационное же поле, или поле тяжести, можно наблюдать между любыми телами. Надо лишь, чтобы они имели хоть какую-нибудь массу, а ею, как известно, обладают абсолютно все тела. Вот почему оно возникает даже между крохотными частицами, заключенными внутри атома.

Поле не имеет определенной геометрической формы, как любое другое вещество — будь то наша громадина планета или малютка атом. Но, как всякая материя, поле обладает определенной энергией — может двигать, перемещать предмет, находящийся в нем, или совершать какую-нибудь другую работу.

Поле имеет определенную протяженность в пространстве, хотя у него нет четких границ, и никогда нельзя указать точный рубеж, за которым кончается его действие. Всего сильнее поле вблизи породившего его источника, а чем дальше, тем все больше и больше оно ослабевает.

Еще одна удивительная особенность отличает поле от любой другой вещественной формы материи. И громадное космическое тело и крошка атом занимают свой кусок пространства. Несколько планет или атомов могут располагаться только рядом друг с другом. А магнитное, электрическое и поле тяжести спокойно умещаются в одном и том же участке пространства, словно вкладываясь одно в другое.

Вот почему любое небесное тело может одновременно как бы

разговаривать со своими далекими соседями на трех языках: излучать сразу магнитное, электрическое и гравитационное поля. Как наша Земля, например.

Сейчас уже никто не станет утверждать, что стрелку компаса поворачивает Полярная звезда, как это всерьез считали всего несколько веков назад. И штурман, ведущий по компасу самолет сквозь полярную ночь, и отправляющийся в маршрут геолог, и просто школьник, еще только мечтающий о путешествиях, хорошо знают, что сама наша Земля — огромный магнит.

А магнитный океан, окружающий Землю, волны которого местами так удивительно совпадают с буграми и впадинами геоида, — это и есть магнитное поле, рожденное магнитным зарядом нашей планеты. Громадная же масса Земли создает вокруг нее сильное поле тяжести.

Расстояние, на котором заметно ощущается действие земного поля тяжести, астрономы оценивают примерно в 900 тысяч километров. Оно обволакивает земной шар весьма солидной толщей и обладает такой мощью, что заставляет стремительно мчаться вокруг Земли тяжелую Луну. А ведь она находится от нас почти за 400 тысяч километров. Во власти этого могучего поля тяготения оказался и искусственный спутник.

Еще мощнее поле тяжести, окружающее Солнце. Оно имеет протяженность в миллиарды километров. И даже Плутон, находящийся от нашего светила на расстоянии 6 миллиардов километров — в сорок раз дальше, чем Земля, — движется далеко не по его «краю».

Гравитационное поле Солнца сможет двигать и еще более далекие планеты, если такие окажутся. Во всяком случае лишь на расстоянии, в сто с лишним тысяч раз большем того, которое отделяет от Солнца нашу планету, его притяжение станет слабее, чем ближайшей звезды. Это значит, что если бы какая-то планета очутилась здесь, то она стала бы вращаться не вокруг нашего, а вокруг другого солнца, — звезды Альфы из созвездия Центавра, например.

Мощные, стремительные поля тяготения, переносящие притяжение на колоссальные расстояния, и делают тяжесть такой всесильной.

Измерить приближенно магнитный заряд Земли или так же примерно определить ее массу не столь уж сложно. И это давно проделано учеными. Но даже и зная, что земной магнит не очень силен и притягивает тела примерно так же, как школьная «подкова», удаленная сантиметров на 10–15, а вес земного шара, напротив, выражается солидным 22-значным числом, мы еще не можем точно сказать, как будет действовать магнитное поле

нашей планеты на какое-либо заряженное электричеством тело. Или как будет двигаться в земном поле тяготения тот же, скажем, искусственный спутник. Ведь чтобы суметь ответить на этот вопрос, надо иметь подробный чертеж поля.

После всего, что было сказано о невидимом, не имеющем определенной формы поле, это может показаться совершенным абсурдом. Как начертить то, что не имеет очертаний? Но как начертили в свое время советские ученые невидимку-геоид?

Они отметили на карте Земли точки, в которых геоид был промерен, то есть известна его высота над эллипсоидом, и соединили те из них, которые имели совершенно одинаковые значения. Получилась целая группа извилистых линий.

Примерно так же поступают ученые, когда им надо «нарисовать» магнитное или, скажем, электрическое поле. Они помещают в том или ином участке поля маленький заряд или крохотный магнитик и замечают, как он расположится. Если затем соединить все точки, в которых этот заряд или магнит располагался одинаково, то получатся сплошные линии, в которых направление действия поля одинаково. Их обычно называют силовыми линиями.

К помощи силовых линий прибегают ученые, когда им надо изобразить на бумаге какое-нибудь поле. Глядя на такой рисунок, они сразу могут определить характер поля: чем гуще расположились в том или ином месте силовые линии, тем энергичнее будет действовать здесь поле на движущийся предмет. А в каком направлении — это указывают сами линии.

Мощным пучком вырываются магнитные силовые линии с побережья Антарктиды и, обогнув пространство вокруг Земли, вонзаются в северное полушарие где-то между островов Канадского архипелага. Об этом рассказала все та же стрелка компаса, которая стала первым измерителем магнитного поля Земли. Она-то и выполняет роль магнита, вытягивающегося всегда вдоль силовых линий.

Рисунок земного поля тяжести не менее сложен. Направление, в котором действует сила тяжести, указывает нам обычный отвес — нить с маленьким грузиком на конце.

Ученые сумели сделать одно из полей — магнитное — даже осязаемым.

Этот простой школьный опыт, наверное, помнят все. На листок бумаги над магнитом сыплют мелкие железные опилки. И неожиданно они начинают выстраиваться кругами — невидимые силовые линии, в существование которых приходилось верить на слово, вдруг становятся зримыми, словно они проявились на фотопластинке.

Поисками таких «опилок» и занялись ученые, исследующие огромный земной магнит. Оказалось, роль «опилок» в этом случае могут сыграть космические лучи, непрерывным потоком льющиеся на земной шар из мирового пространства. Наталкиваясь на невидимый магнитный барьер, окружающий Землю, электрически заряженные частички как бы «спотыкаются».

Пробить магнитное поле Земли удается не всем из них. Самые слабенькие покорно опускаются в приполярные районы, соскальзывая по сходящемуся вееру силовых линий. А наиболее сильные, протаранив магнитный барьер, проникают в средние и экваториальные широты.

Земной магнит как бы сортирует космические лучи. И вот, измеряя, сколько частиц и какой силы достигает поверхности Земли на разных широтах, ученые наглядно представляют себе величину магнитного поля в тех или иных местах. Они получают как бы «фотоснимок» магнитного поля, выполненный космическими лучами.

Зачем понадобилось узнавать его структуру таким сложным

путем? Не проще ли было взять шар из железа, намагниченный с такой же силой, как и земной, и обсыпать его не космическими, а самыми обычными металлическими опилками? Когда-то примерно так и делали. И все, что удалось «увидеть» и «прощупать» в магнитном поле простого металлического шара, механически переносили на «чертежи» земного магнитного поля.

Но чем больше путешествовала вместе с магнитологами по настоящему магнитному океану стрелка магнитометра, тем очевиднее становилось, что земное магнитное поле далеко не так просто, как то, которое образуется вокруг ровного однородного металлического шара. Ведь Земля — вовсе не такой идеальный шар.

Теперь известно, что земной шар намагничен асимметрично. Его магнитная ось не совпадает с географической. Она наклонена к оси вращения на 11°30′ и смещена от центра Земли на целых 1140 километров в сторону Тихого океана. А само магнитное поле в западном и восточном полушариях не одинаково по силе.

Кроме того, в земном магнитном поле обнаружились значительные неровности. Силовые линии в самых неожиданных местах, вместо того чтобы образовать плавные дуги, изгибаются, сближаются, как если бы здесь находился какой-то добавочный магнит. Попробовали измерить в одном из таких мест величину магнитного поля, оказалось, что она здесь гораздо больше, чем должна бы быть. О причинах таких магнитных сгустков, как мы знаем, спорят ученые.

Так же неоднородно и земное поле тяжести. От поля тяготения, возникающего вокруг металлического шара, его отличают две особенности. Металлический шар — это действительно шар, и его поле тяготения с одинаковой силой действует во всех направлениях. А Земля сплюснута, и потому ее поле тяжести неровное: на одном и том же расстоянии от поверхности планеты оно имеет разную величину против полюсов и против экватора.

Кроме того, плотность металлического шара совершенно одинакова в любом его месте, почему можно считать, что его поле тяготения возникает в одной точке — центре шара. И тогда его очень легко начертить.

Земля же, как известно, неоднородна, и различные ее участки развивают разную силу притяжения, отчего земное поле тяжести становится очень сложным, как бы состоящим из множества местных полей. Его трудно начертить и, значит, рассчитать заранее силу, с которой оно действует в том или ином месте, пока оно не промерено буквально вдоль и поперек.

Вот почему, заставив искусственный спутник двигаться в

поле тяготения Земли, ученые все-таки оказались не в силах предсказать абсолютно точный маршрут новой луны на все время ее жизни.

Непослушная спираль

«Как же так? — спросите вы. — Ведь даже в самом первом сообщении о запуске искусственной луны было сказано: спутник вышел на заданную орбиту, — и указаны ее отличительные признаки — высота над земной поверхностью, угол наклона к Земле и так далее. Разве спутник ослушался ученых и движется не на той высоте и не под тем углом, которые были ему заданы?» Разберемся в этом подробнее.

Огромная высота и стремительная скорость, как говорилось, — важнейшие условия, делающие обычный «камень» спутником планеты. И не просто большая высота и большая скорость, а вполне определенные, рассчитанные заранее, задолго до того, как будущий спутник начал свое заоблачное путешествие.

Удивительный полет безо всякого двигателя — падение, никогда не кончающееся падением, начинается с того момента, когда наступает равновесие сил, притягивающих «камень» к Земле и стремящихся отбросить его еще дальше, в космос.

А для этого наш «камень» должен мчаться со скоростью около 8 километров в секунду. Только при этом условии он не вернется на Землю и станет круг за кругом обходить ее. Поэтому такая скорость и называется круговой, или орбитальной, так как в данном случае «камень», подобно всякому небесному телу, обретает свою орбиту.

Достичь скорости передвижения, намного превышающей все наземные, может только многоступенчатая ракета. Обычной, не делящейся на ступени ракете пришлось бы тащить с собой такой запас топлива, какой она просто была бы не в силах поднять. Освобождаясь же от одной из своих частей, ракета становится легче. И ей теперь требуется топлива гораздо меньше. Вот почему во время ожесточенной схватки с тяжестью ракета последовательно одну за другой отбрасывала свои ступени. Только это и позволило ей вывести спутник на орбиту.

Но почему в сообщении говорилось, что спутник движется вокруг нашей планеты вовсе не по кругу, а по эллипсу?

Дело в том, что скорость — 8 км/сек — дана как бы с

запасом. Она не позволит «камню» упасть на Землю, даже если бы мы бросали его прямо с поверхности Земли. А так как даже наш первый спутник стал двигаться на высоте почти тысячи километров (второй и третий — еще выше), где сила тяжести уже ослаблена самим расстоянием, то он получил как бы некоторый излишек скорости. Тяжести из-за этого стало труднее искривлять его путь, и орбита спутника вытянулась, превратившись в эллипс.

Вот размеры и форму этого эллипса ученые и рассчитали заранее, зная силу земного тяготения и законы, по которым действует поле тяжести, окружающее Землю.

Центр Земли находится в одном из фокусов этого эллипса. Поэтому спутник то приближается к ней, то удаляется от ее поверхности. Наиболее далекая точка орбиты первого спутника находилась от поверхности Земли примерно в 900 километрах. Сам эллипс был вытянут лишь слегка и мало отличался от правильного круга. А его наклон к земному экватору составлял 65°.

Таково было задание, полученное автоматическим аппаратом управления ракеты на Земле. От того, насколько правильно он его выполнит, зависело — станет заложенный груз искусственным спутником или нет.

Если бы в расчетах ученых оказался хоть малейший просчет и двигатель ракеты не дотянул ее до нужной высоты или толкал бы ее в последний момент чуть медленнее или в неправильном направлении, победительницей из схватки вышла бы тяжесть, и спутник, вновь став простым камнем, вернулся бы на Землю, как возвращались на нее до этого все брошенные вверх предметы.

А что случится, если скорость забрасываемого в космос тела окажется больше 8 км/сек?

Обруч его орбиты вытянется сильнее. Второй советский спутник, например, получив скорость, несколько превысившую ту, которая была достигнута 4 октября, отошел от Земли уже на 1500 километров, проникнув в космос еще глубже.

Дальнейшее увеличение скорости будет еще сильнее растягивать орбиту спутника, пока, наконец, обе половины эллипса не разомкнутся совсем и спутник не умчится по одной из этих разогнутых кривых прочь от Земли, превратившись в искусственную планету или метеор.

Это может произойти, когда последняя ступень ракеты разгонится до 11 с лишним километров в секунду — скорости, при которой земной предмет совсем освободится от пут земного тяготения. Именно с такой «скоростью освобождения», как ее называют, и стартовала с Земли ракета, направившаяся в сторону Луны и ставшая искусственным спутником Солнца.

Спутнику, как видим, чтобы действительно стать им, приходится очень точно выполнять все предписания человека и двигаться строго по рассчитанному пути. Сам тот факт, что запуск искусственных спутников успешно осуществлен, свидетельствует о высокой точности этих расчетов. Труднейшая научная и техническая задача запуска нового небесного тела блестяще решена советскими учеными, и все наши спутники вышли именно на те орбиты, форма и размеры которых были им заданы.

Однако выход спутника на орбиту вовсе не означает, что он будет все время двигаться, как привязанный, по одному и тому же маршруту. Его орбита не остается неизменной. На нее влияют две причины: сопротивление воздуха, даже очень сильно разреженного, и неровности поля тяготения Земли.

Встречный воздух играет роль своеобразного тормоза, уменьшая скорость движения спутника. Этот тормоз в разных точках орбиты действует с разной силой. Наибольшее сопротивление спутник испытывает, когда приближается к Земле. Погружаясь в более плотные слои, примыкающие к земной поверхности, он тратит больше усилий на их преодоление. И несмотря на то, что через менее плотные слои, дальше отстоящие от поверхности Земли, спутник потом летит как бы с выключенным тормозом, он уже не может подняться на высоту, которой достиг в этом же месте в предыдущий раз.

Ослабевшего в борьбе с сопротивлением воздуха, снизившегося, земное тяготение завернет его назад раньше, не дав дойти до «конца» орбиты. На следующем обороте спутник войдет в плотные слои воздуха еще ниже, и они еще сильнее затормозят его бег. Эллиптическая вначале, орбита его будет все больше укорачиваться и «толстеть», пока не превратится в круг.

Но и на этом ее превращения не кончаются. Она будет все ближе стягиваться к поверхности Земли, а время каждого оборота — соответственно уменьшаться.

На громадных высотах, где начинает свое движение искусственный спутник, атмосфера сильно разрежена, и торможение будет вначале едва заметным. Но попав в более плотные слои воздуха, спутник столкнется с большим количеством молекул воздуха, а трение о них будет столь сильным, что он раскалится и в конце концов сгорит. Сгорит, подобно метеорам, которые, влетев с большой скоростью в атмосферу Земли, вспыхивают ярким, быстро гаснущим угольком.

Не будь этого досадного торможения, спутник, раз заброшенный, летал бы вечно, подобно тому как вечно движение планет в безвоздушном пространстве.

Может возникнуть вопрос: почему же, представляя во всех подробностях эти превращения, ученые не учли их в своих расчетах орбиты спутника? Пусть это был бы уже не стойкий эллипс, а меняющая свои очертания кривая, но все «выкрутасы» ее следовало бы вычислить заранее.

Этого нельзя было сделать по той причине, что сама плотность атмосферы на тех высотах, где движется спутник, пока еще не вполне известна ученым. Ведь до сих пор о свойствах воздушного покрывала Земли мы могли судить лишь по косвенным признакам: сполохам северного сияния, раскидывающего свои причудливые занавесы где-то на самом «краю» воздушного океана, да следам от сгорающих там случайных гостей из вселенной — метеоритов.

И не мудрено, что эти сведения были во многом приблизительны. Попробуйте представить себя обитателем морского дна, который пытается судить о жизни на его поверхности, наблюдая за ней сквозь тысячекилометровую водную толщу. А ведь мы находимся тоже на самом дне воздушного океана.

Еще совсем недавно земная атмосфера там, на границе с мировым пространством, считалась не очень уж густой и довольно сильно нагретой. А первый лот, проникший в воздушные глубины, принес сведения совсем иного рода. Воздушный океан в местах промеров оказался более холодным и плотнее, чем предполагали раньше.

И все же это были опять-таки очень неточные сведения. Как не могут несколько измерений морских глубин рассказать о строении всего океана, так и разрозненные ионосферные исследования мало говорили ученым о свойствах атмосферной толщи в целом.

Вот почему, разрабатывая научную программу для первых искусственных спутников, ученые прежде всего заставили их измерять плотность окружающего воздуха.

Это, между прочим, помогает более точно рассчитывать орбиты новых спутников.

Плотность воздуха на больших высотах в миллиарды раз меньше, чем у поверхности Земли. Здесь воздух так разрежен, что молекулы его можно было бы буквально пересчитывать по пальцам. Но это-то и создает новые трудности. Для измерения плотности верхних слоев атмосферы пришлось применить специальные «ловушки» молекул. Один из таких своеобразных приборов был установлен на третьем нашем спутнике.

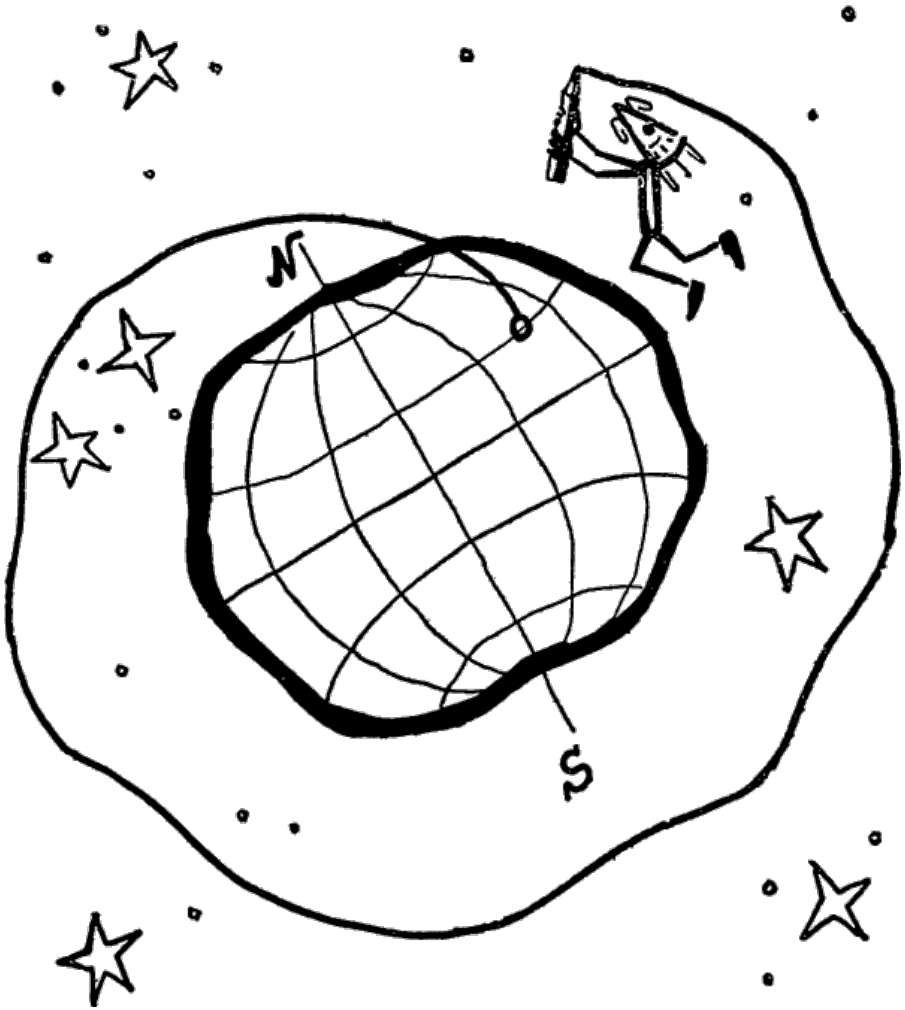
Как только спутник вышел на орбиту, специальный механизм разбил покрышку, и ловушка наполнилась молекулами воздуха.

Здесь, сталкиваясь с электронами, стекающими с раскаленного вольфрамового волоска, они превращались в положительные ионы, которые прочно «прилипали» к счетной сетке. Пересчитав их, спутник радировал на Землю.

Осенью 1958 года на состоявшейся в Москве Всемирной ассамблее Специального комитета Международного геофизического года советские ученые сообщили о первых результатах этих интереснейших наблюдений. Оказалось, что в каждом кубическом метре на высоте свыше 200 километров молекул воздуха насчитывается примерно одна десятимиллионная доля грамма — в 10 миллиардов раз меньше, чем у поверхности Земли.

Выяснилось также, что атмосфера Земли простирается гораздо выше, чем это предполагалось. В самой же низкой точке орбиты третьего советского спутника воздух тормозил его, как показали наблюдения, с силой около 4 граммов.

Теперь, когда спутник сам сообщает о плотности высоких слоев воздуха, влияние атмосферы на его орбиту может быть учтено с большой точностью. А все другие отклонения орбиты будут зависеть только от неровностей земного поля тяжести — тех же самых неровностей, которые возмущают, искажают путь естественной Луны.



Вы уже, наверное, обратили внимание, что все неправильности поля тяготения Земли, влияющие на движение спутника, все эти сгустки силовых линий и разреженные места вызваны исключительно формой нашей планеты, ее внутренним строением.

В истинной орбите искусственного спутника, как и в движении естественной Луны, все эти неправильности отразятся, словно в зеркале. Только орбита искусственного спутника — гораздо более близкое «зеркало» и потому более точное. Те же самые причины, которые едва заметно изменяют долготу и широту Луны, то есть делают ровный эллипс ее орбиты слегка извилистым, вызывают гораздо более сильные изменения в движении искусственного спутника. Именно по этим изменениям его орбиты и определяют форму Земли.

Каковы же они?

Орбита спутника представляла бы собой правильный,

постепенно приближающийся к кругу эллипс, если бы Земля была совершенно круглой, как ровный металлический шар. И если бы вдобавок слагающие ее породы имели всюду одинаковую плотность. Спутник тогда двигался бы все время в одной плоскости, как по обручу, внутри которого вращалась бы наша планета. Это значит, что в конце каждого оборота он возвращался бы в ту же самую точку орбиты, из которой начал свое движение. Оба конца кривой, по которой он движется, должны были соединиться, и эллипс замкнулся бы. Но в действительности этого не происходит.

Из-за сплюснутости Земли, из-за лишнего утолщения, опоясывающего Землю, плоскость орбиты спутника будет поворачиваться, описывая конус, подобный тому, который обходит ось обычного волчка. «Обруч», таким образом, сам движется в пространстве. В результате этого, обойдя вокруг Земли, спутник не попадает в точку начала своего движения. Кривая его пути останется незамкнутой, и каждый следующий виток не будет совпадать с предыдущим — эллипс превратится в спираль.

Подсчитано, что за каждый оборот всех трех советских спутников вокруг Земли плоскости их орбит поворачивались примерно на четверть градуса. (Вращается плоскость орбиты в ту или иную сторону в зависимости от того, в каком направлении был запущен спутник.)

Быстрота этого смещения зависит от того, насколько сильно наклонена орбита спутника к земному экватору. А у них этот наклон был один и тот же — 65°30′. Через три месяца, когда орбита опишет полный конус, она должна вернуться в то положение, какое занимала в самый первый момент, и витки новой спирали невидимой паутиной снова станут оплетать земной шар.

Кроме этого, сплюснутый земной шар немного сплющивает и орбиту спутника, сжимая ее с севера на юг: витки спирали будут все меньше и меньше походить на эллипс.

И, наконец, спираль, которую спутник вычерчивает в небе Земли, будет изобиловать небольшими зигзагами — следами тех бугров и впадин поля тяжести, над которыми пролетает спутник и которые так трудно исследовать непосредственно с земной поверхности.

Итак, непослушная спираль, подвластная лишь «капризам» земного тяготения, опояшет Землю совсем не так, как это должен был сделать ровный неподвижный обруч идеальной орбиты. Предусмотреть все ее изменения и рассчитать, где и насколько действительный путь спутника будет отходить от заданного

маршрута, можно лишь в том случае, если бы было подробно изучено земное поле тяжести.

Пожалуй, только геодезистов не огорчила неточность предсказания истинного пути спутника. Ведь именно теперь, наблюдая за его движением по этой неизвестной в деталях орбите, они получили возможность определить точную форму нашей планеты не с самой Земли, а из космоса.

Самое же интересное, что для этого геодезистам не потребовались никакие специальные приборы, как, например, исследователям верхней атмосферы, если не считать, конечно, светосильных фотокамер и очень точной службы времени для наблюдения за самим спутником. Даже обычный «земной» гравиметр или маятник не стали они устанавливать на искусственном спутнике.

Измерительным прибором служит он сам — послушный небесный землемер, движущийся в космосе. Как и в случае с естественной Луной, чтобы определить с его помощью форму Земли, необходимо лишь знать его координаты.

Лунный патруль

Отсюда, с плоской крыши обсерватории, поднявшейся над городом, ночное московское небо кажется необычным: глубокое, все утыканное светлячками звезд, совсем не городское — просвеченное насквозь яркими огнями улиц и домов, каким мы привыкли его видеть там, внизу. Может быть, так кажется оттого, что вся площадка погружена в темноту.

Сигнал «погасить огонь» означает, что ждать осталось совсем недолго.

Наклонились к приборам наблюдатели, напряженно всматривается каждый в «свой» участок неба, заранее поделенного ими для большей гарантии того, что крохотная звездочка, которую они стерегут, будет обязательно «поймана» в окуляр хотя бы одного из приборов.

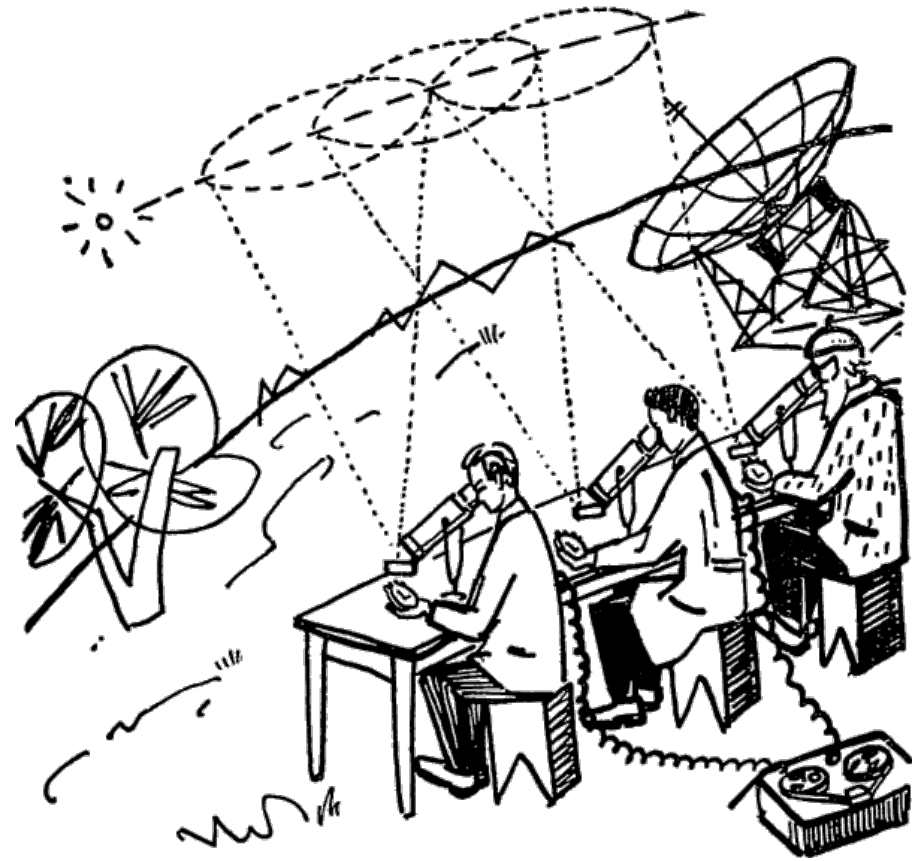
Все отлажено и подготовлено заблаговременно. Патруль, стерегущий появление спутника, готов к наблюдениям.

Такие предосторожности приняты не зря. Спутник — очень необычное небесное тело даже для астрономов, привыкших ко всякого рода «хвостатым», «блуждающим», «падающим» и другим необыкновенным звездам. Обычные звезды кажутся нам неподвижными, накрепко прикрепленными к небосводу. Спутник

же — стремительно мчащаяся «звезда».

Всего за каких-нибудь полтора часа или чуть больше облетает новая звезда громадный земной шар. Неудивительно, что, мелькнув перед окуляром наблюдателя, она мгновенно исчезает из его поля зрения. Опоздал, пропустил это мгновение — и пиши пропало: координаты спутника останутся неизмеренными, и правильная орбита не будет определена. Вот почему на каждой такой станции спутник сторожат сразу несколько наблюдателей.

Они выставили для его перехвата настоящий «барьер» из оптических трубок, пересекающий траекторию полета сплошным заслоном. Все приборы располагаются рядом так, чтобы в каждый был виден не только «свой» участок неба, но и половина соседнего. А в следующем — та же половина и новый кусок, который также вторично перекрыт следующим прибором.



Это необходимо потому, что место появления спутника известно приблизительно. Ведь в телеграмме, пришедшей из вычислительного центра накануне, указана примерная траектория его полета.

Но почему в такие маленькие, какие-то «детские» телескопы наблюдают за полетом искусственного спутника? Ведь, казалось

бы, чем слабее звезда, тем мощнее должен быть увеличивающий ее телескоп. И действительно, по соседству задрал в небо свой исполинский хобот телескоп-гигант, в который наблюдают звезды такой же яркости, каким мы видим с Земли спутника.

Простая трубка на вилке-подставке, похожая на обычную подзорную трубу, кажется такой примитивной в соседстве с этим современным механизмом, который сам поворачивается вслед за медленно вращающимся небесным сводом.

В чем же дело?

Оказывается, крошку-спутника не только нет необходимости сильно увеличивать, но, наоборот, это могло бы принести прямой вред наблюдениям. В сильный телескоп виден меньший кусок неба. На этом крохотном клочке спутник промелькнет еще стремительнее, и момент пролета уловить будет очень трудно. Поэтому для наблюдения за спутником пришлось применить широкоугольные телескопы, в которые видна большая площадь неба. Ведь задача таких наблюдений вовсе не увеличить маленькую луну, а определить ее путь среди других звезд.

Такие телескопы «АТ-1», или астрономические трубки, как их назвали, были специально сконструированы и построены советскими приборостроителями. Вместе с ними сотрудники каждой станции наблюдения за искусственным спутником получили целый набор, казалось бы, не имеющих никакого отношения к астрономическим исследованиям предметов: телеграфный ключ, звуковой генератор, радиоприемник, магнитофон.

«Поймать» спутник, обнаружить его среди звезд — это только полдела. Не менее важно определить, в какой момент он окажется среди тех или иных звезд. Чтобы засечь время его пролета над станцией наблюдения, и необходимы все эти приспособления.

…Глаза освоились с темнотой, подробно запечатлелся в памяти каждого наблюдателя рисунок куска неба с неподвижно застывшими там и тут звездами-светляками, видимого в окуляр его трубки. Томительно тянется время, которое внизу, в аппаратной, старательной морзянкой пересчитывает радиоприемник. Точка, точка, точка… тире также старательно записывает секунды и минуты магнитофон. И вдруг…

— Внимание! — раздается новая команда.

В окуляре крайнего наблюдателя появилась стремительно движущаяся звезда. Увидев ее, он нажимает на ручку телеграфного ключа. Басовито взревел в аппаратной зуммер. Среди строгих методичных телеграфных сигналов на ленте магнитофона появляется посторонняя звуковая зарубка.

А движущаяся звездочка, то ярко вспыхивающая, то почти

исчезающая, показалась и в трубке второго наблюдателя. Раз! Еще одна засечка прервала мерный ритм записанного на магнитной ленте времени.

Один за другим нажимают наблюдатели на телеграфные ключи, и все новые и новые отметки появляются на ленте магнитофона, расчерченной по секундам. Теперь момент появления спутника на каждом новом участке неба точно известен. Стоит только включить магнитофон и расшифровать его записи.

Наблюдатели спешат к картам звездного неба. И спутник, пойманный в крестообразную паутину, которой расчерчен окуляр трубки, перекочевывает на карту. Теперь по следу, оставленному им на ленте магнитофона и на звездной карте, можно точно определить его координаты в тот момент времени, когда он находился в данном месте неба.

Станций наблюдения, подобных той, на которой мы только что побывали, на территории нашей страны организовано семьдесят.

Но глаз человека — не самый совершенный прибор. Вот почему навстречу спутнику часто высылают другой патруль — наблюдателя, вооруженного специальной камерой с большим полем зрения.

При фотографировании на пленке получается не неподвижная звездочка, а сплошная светлая линия, состоящая как бы из бесчисленных спутников, уложенных друг за другом. Как же найти один-единственный спутник в этом бесконечном ряду спутников-соседей?

Делается это очень просто. В определенное время нажимают кнопку, закрывающую затвор, и фотообъектив на мгновение «слепнет». Светлый след прервался. В месте разрыва как раз и находился во время нажатия кнопки спутник.

Нередко при наблюдении искусственной луны применяют прибор, специально приспособленный для съемки быстродвижущихся небесных тел: например, метеоров. Он так и называется: «метеорный патруль».

Этот прибор представляет собой как бы «гибрид» трех разных инструментов: фотоаппарата, киноустановки и теодолита. С помощью такого кинофототеодолита автоматически получают изображение спутника на пленке, отметку времени, когда это произошло, узнают высоту, на которой он летел, и скорость движения.

Иногда же спутник фотографируют и с помощью «усилителя яркости», как называют электронно-оптический преобразователь. Он позволяет получать изображения совсем слабых или даже

вовсе невидимых звезд, излучающих лишь инфракрасный свет. Этот слабый или невидимый свет преобразуется прибором в потоки электронов. Попадая на специальный экран, они заставляют светиться покрывающий его люминесцентный слой. Поток электронов опять превратился в свет, но только гораздо более сильный, чем тот, который его вызвал.

А если это был инфракрасный луч, то, став на время потоком электронов, он превращается затем — в видимый свет.

На X Международном астрономическом съезде, о котором мы уже несколько раз упоминали выше, сотрудник Государственного астрономического института имени Штернберга П. В. Щеглов сообщил, что электронно-оптический преобразователь был использован работниками этого института для наблюдений за вторым и третьим советскими искусственными спутниками, и продемонстрировал фотографии, полученные с его помощью.

В самом том факте, что простой металлический шар, не «заправленный» никаким источником света, выйдя на орбиту, вдруг превратился в яркую звезду, заключается еще одно удивительное превращение «камня», ставшего небесным телом. Если бы не его блеск, как увидели бы мы темную «пылинку», мчащуюся вокруг Земли?

Это превращение обошлось без посредства человека. Готовя нового небесного жителя к старту, на заводе разве что отполировали его бока, чтобы они лучше отражали солнечные лучи, благодаря чему темный «камень» и становится сияющей звездочкой.

А вот одно свойство небесного тела пришлось «сконструировать» еще на Земле. Оборудовав спутник передатчиком, ученые заставили его переговариваться с Землей. Теперь о его появлении можно узнавать, не видя сам спутник. Достаточно лишь улавливать излучаемые им радиоволны, подобно тому как слушают радиошумы, которые доносятся до нас от соседей по вселенной. И это позволило не упускать спутник из виду, даже когда он скрыт от наблюдателя пеленой облаков.

На оптической станции, увидев на своем участке неба спутник, наблюдатель специальным сигналом делал отметку на ленте магнитофона, простроченной секундами и минутами. А на этот раз такой сигнал как бы подает сам спутник, подлетая к наблюдателю.

Вместо того чтобы смотреть на него, наблюдатель в этом случае слушает его голос. В момент, когда спутник находится над наблюдателем, или, вернее, слушателем, его сигнал окажется самым громким, и на ленте магнитофона, расчерченной по секундам, появится та самая звуковая зарубка, которая помогает

определять координаты спутника.

Слушают спутник обычно с помощью радиоприемника. А присутствовавший на X Международном съезде астрономов английский ученый А. Ловелл сообщил, что у него на родине для этой цели применили также крупнейший в мире параболический радиотелескоп, установленный на обсерватории Джодрел-Банк близ Манчестера.

Производя такие наблюдения, ученые замеряют не только громкость радиосигналов спутника, но и изменения частоты их, вызванные движением. Об этом подробно рассказал на том же астрономическом съезде советский академик В. А. Котельников.

Для этого используется так называемый эффект Доплера. При приближении любого радиопередатчика, установленного на движущемся предмете, к пункту, где принимают его радиосигналы, частота этих сигналов повышается. А когда радиопередатчик начинает удаляться от приемника — понижается. Для мчащегося с громадной скоростью спутника этот эффект оказался довольно значительным. С помощью эффекта Доплера координаты спутника и расстояние до него были определены с большой точностью.

Когда же замолкает радиопередатчик спутника, исчерпав весь запас энергии, на поиски искусственной луны отправляется радиолуч и безошибочно нащупывает его с Земли в темной глубине межпланетного пространства.

Лунный патруль работает четко.

«Москва — спутник»

По этому ставшему уже привычным адресу ежедневно приходят тысячи одинаковых писем. Радиолюбители и астрономы, сотрудники обсерваторий и наблюдательных станций — все, кому довелось «поймать» спутник в свои приборы, спешат сообщить об этом в вычислительный центр.

Мы оставили сотрудников оптической станции, когда они отметили положение спутника на звездной карте и момент пролета звуковой зарубкой на ленте магнитофона. Точно так же переносят на звездную карту найденное положение спутника с фотопленки. Теперь предстоит найти его координаты.

Положение любого пункта на Земле определяется, как известно, по его расстоянию от экватора, то есть широтой, и от нулевого меридиана — долготой. Такой же «экватор» и «нулевой

меридиан» есть и на небесной сфере, мысленно разделенной астрономами на небесные «параллели» и «меридианы».

«Широта» звезды (расстояние до нее от небесного экватора) называется ее склонением. А расстояние от начального круга склонения, заменяющего на небесном своде нулевой меридиан, — «долгота» звезды. Она называется прямым восхождением. Это и есть координаты, определяющие положение на небесном своде любой звезды или планеты.

Их находят по звездной карте, расчерченной, подобно географической, своей градусной сеткой — небесными меридианами и параллелями. Измеряя, сколько «параллелей» и «меридианов» отделяют спутник от небесного экватора и небесного меридиана, и узнают его координаты на небесном своде в тот или иной момент времени. Вот теперь наблюдение закончено полностью — и в вычислительный центр летит телеграмма: «На 20 ноября координаты искусственного спутника в 19 часов 34 минуты по московскому времени были…»

Здесь по ним предстоит вычислить его орбиту.

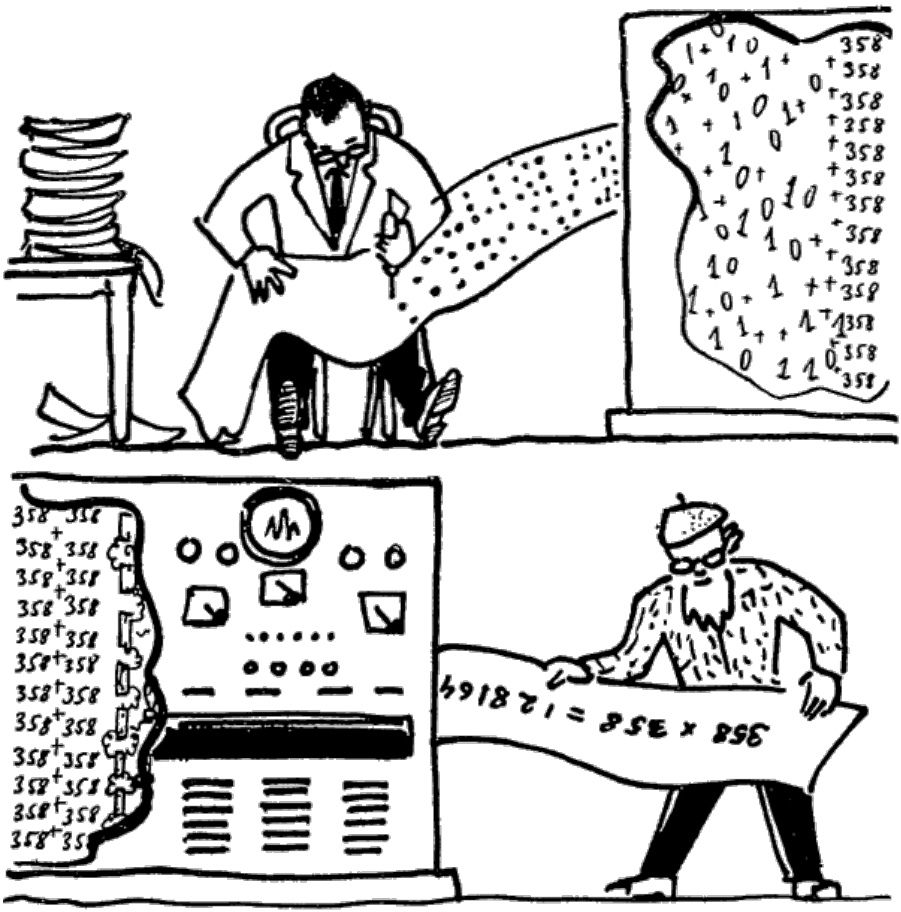
Задача, казалось бы, несложная. Путь искусственного спутника, как и любого другого небесного тела, определяется законами Кеплера, с которыми каждый из нас знаком еще со школьных лет. Значит, надо взять соответствующие формулы, вытекающие из этих законов, подставить в них найденные из наблюдений недостающие величины, определяющие положение спутника в разное время, — и орбита готова.

Но вот тут-то и начинаются главные трудности. Примерную орбиту спутника можно вычислить даже на арифмометре — всего по нескольким наблюдениям. А вот чтобы определить орбиту спутника с такой степенью точности, как это необходимо хотя бы геодезистам, надо произвести огромное количество вычислений. Если их поручить одному человеку или даже целой группе ученых — это заняло бы, пожалуй, не день и не два, а, может быть, несколько месяцев или даже лет.

Получалась невероятная вещь. Человек сумел проникнуть в тайну движения небесных тел, записать законы, которым подчиняются космические путешественники, языком математики. А когда осталось самое простое — пересчитать цифры, казалось бы, сделался беспомощным.

Сотни, тысячи вычислений астрономы должны были раньше производить «вручную». Они делили и умножали многозначные числа, извлекали корни, интегрировали, решали дифференциальные уравнения, и казалось невозможным, чтобы всю эту сложную премудрость могла постигнуть пусть даже самая «умная» машина.

И многочисленные расчеты так и остались бы, вероятно, большим препятствием при определении орбиты спутника и вообще геодезических вычислений, если бы их не поручили электронно-счетным машинам, считающим в 100–150 тысяч раз быстрее самого способного вычислителя.



Академик А. В. Топчиев, говоря о современных электронно-счетных машинах, привел как-то такой интересный пример. Для обработки астрономо-геодезических измерений приходится производить до 250 миллионов арифметических операций. Большой электронно-счетной машине Академии наук на это требуется всего 20 часов, а одному человеку пришлось бы трудиться над этой же задачей… целых 200 лет.

…И вот она перед нами — машина с «высшим математическим образованием», как шутливо говорят про нее ее создатели: быстродействующая электронно-счетная машина, на которой был произведен первоначальный расчет орбит советских искусственных спутников и которая по результатам наблюдений

за их движением вычисляет «новую» орбиту рукотворных небесных тел, позволяя с большой точностью предсказывать их будущий маршрут.

Она занимает целый зал, эта удивительная машина, считающая с непостижимой быстротой — 7–8 тысяч вычислений в секунду. Оператор — единственный человек, кроме дежурного у пульта управления, который помогает машине считать. Он переводит задание на язык машины. Обычные цифры, напечатанные черными значками на белой бумаге, превращаются в комбинации аккуратных отверстий. Это своего рода перевод с языка зрячих на язык слепых.

Но почему именно такой язык выбрали для столь совершенной машины? Оказывается, она действительно пока еще слепа и не может читать обычный черно-белый текст. Зато вот этот, состоящий из осязаемых условных значков, она читает легко, «ощупывая» лучом света ленту, на которой он написан.

Получив необходимые цифры, машина «извлекает» из своей магнитной «памяти» соответствующие формулы, заблаговременно «вложенные» туда человеком, и принимается считать.

Найдя в сплошной непрозрачной ленте отверстия, которыми записаны нужные для счета цифры, луч света проскальзывает сквозь них и попадает на металлическую пластинку. Там, где упал световой луч, рождается крохотный родничок электротока. Усиленный в несколько раз поток электронов, выбитых лучом света из металлической толщи, влетает в электронную лампу.

Одна за другой вспыхивают «искорки» электрического тока в многочисленных электронных лампах, заполняющих почти всю внутренность машины. Мириады таких электрических «искорок» — это как бы рассыпавшиеся на крошечные составные части громоздкие цифры, подлежащие счету.

Счетные машины оказались хитрее даже самых умелых и ловких вычислителей. Они оперируют только с единицами и нулями, на которые в конечном счете можно разложить любое число.

Отказались они и от сложных математических действий. Обладая способностью почти мгновенно складывать сотни и тысячи самых различных цифр, электронные «математики» все расчеты свели к сложению. Им оказалось легче сложить число 358, скажем, с самим собой 358 раз, чем перемножать их друг на друга.

И вот уже со стороны, противоположной той, куда втягивалась испещренная «набором» отверстий лента, выползает другая лента, сплошь покрытая рядами обычных цифр.

Машина-математик не только молниеносно произвела за

человека миллионы разнообразных вычислений, но и «перевела» результат своих расчетов, записанный невидимым электрическим пером, в обычные цифровые знаки. Обычные-то обычные, но что же обозначают все эти тройки, девятки, пятерки — отпечатанные на бумажной ленте?

Непосвященным они мало что скажут. А ученый, взяв в руки такую ленту, тотчас расшифрует ответ электронного «математика». «Здесь указаны все необходимые „приметы“ орбиты, — скажет он. — Длина ее большой полуоси, наклон к плоскости экватора, расстояние от земной поверхности наиболее близкого и самого дальнего ее „конца“, величина сплющенности, отличающая ее от правильного круга, и т. д.».

Это как бы название города, улицы, номера дома и квартиры — космический «адрес» спутника. По нему судят о том, в каком направлении и на каком расстоянии от Земли располагается орбита спутника и каков ее «характер», большая она или маленькая, «худая» или «толстая».

Как только найден точный адрес искусственной луны, из вычислительного центра на станции наблюдения за спутником летят ответные телеграммы: «В ближайшие сутки время пролета спутника над станцией — 19 часов 34 минуты, азимут и высота полета такие-то».

И наблюдатели, получив телеграмму, вновь готовят свои приборы и, склонившись над ними, ждут команды: «Внимание! Спутник!»

А геодезисты? Что делают они?

Чем спутник лучше Луны

Новый маленький подвижной землемер оказался гораздо более удобным, чем старая Луна, упрямо и не спеша движущаяся по своему маршруту.

«Не спеша» — это, конечно, только так кажется геодезистам, которым не терпится обмерить Землю со всех сторон. Мы знаем, что Луна стремительно мчится по своей орбите, пробегая за секунду целый километр. И все-таки пока она обойдет вокруг Земли лишь один раз, проходит долгих 30 дней. А искусственный ее собрат только за сутки, пока настоящая Луна успеет передвинуться едва на величину своего диаметра, уже раз 15 облетит Землю.

Искусственный спутник намного меньше Луны. Поэтому он

виден с Земли в виде светящейся точки, замерять положение которой гораздо легче, чем неровного диска Луны. Собственно, сам спутник мы не видим, и нам неважно поэтому, круглый он или вытянутый, выступают над его краем какие-то части или нет.

Было бы и смешно надеяться разглядеть с расстояния в тысячу, а то и больше километров предмет размером в несколько метров. Полуметровый шар первого спутника для невооруженного глаза исчез бы из виду, например, поднявшись над Землей всего на 2–3 километра.

А чтобы стать видимым хотя бы с самой ближайшей точки своей орбиты, с высоты 200–300 километров, он должен быть почти в 200 раз больше.

Мы видим только луч света, отраженный его поверхностью. Вот почему, как только спутник попадает в густую земную тень, он «исчезает». И также пропадает он на светлом фоне дневного неба. Недаром наблюдатели ловят его обычно ранним утром, перед рассветом, когда Солнце еще не поднялось над горизонтом, или вечером, в сумерках, пока он не оказался поглощенным тенью Земли.

Главное же достоинство нового землемера в том, что он движется гораздо ближе к нам, чем старая Луна, и потому оказывается гораздо послушнее земному притяжению. Из-за этой близости на нем практически не сказывается влияние соседей по вселенной, в том числе и его соперницы — Луны.

На Луну же, как известно, распространяется власть не только ее хозяйки — Земли, но и властелина всей нашей планетной семьи — Солнца. И если говорить точно, то не Луна вращается вокруг Земли, движущейся вокруг Солнца, а общий центр тяжести Земли и Луны, который находится в толще земной массы на расстоянии чуть больше полутора тысяч километров от ее поверхности, послушный нашему светилу, перемещается около него.

Вот почему с запуском искусственного спутника перед геодезией открываются исключительные возможности.

И все же может показаться странным, почему с неба мерить Землю оказывается гораздо удобнее, чем с нее самой. Но в стремлении использовать спутник для исследования самой нашей планеты нет ничего парадоксального. Представление о том, что раз прибор послан в космос, то он и будет доставлять сведения только о межпланетном пространстве, неверно.

Запуск искусственного спутника означает прежде всего, что человек впервые получил возможность взглянуть на свою планету как бы со стороны. А опыт показывает, что не раз он получал ценные сведения о ней, именно обращаясь к небу. Издавна для

этой цели использовали все ту же Луну.

Еще в эпоху Аристотеля Луна служила как бы огромным космическим экраном, на который солнечными лучами проецировалась тень Земли. По этой тени судили о форме нашей планеты. Круглая форма земной тени, видимая на диске Луны при лунном затмении, считалась основным аргументом в пользу мнения о шарообразной Земле.

Необходимость прибегать к наблюдению лунных затмений для решения вопроса о фигуре Земли давно отошла в прошлое, но сами затмения Луны и в наши дни остаются важнейшим методом изучения природы нашей планеты.

Измеряя яркость лунного диска, проходящего через тень или полутень Земли, ученые получили возможность проследить, как преломляются земной атмосферой солнечные лучи, и на основании этого судить о ее структуре и составе. А изучая так называемый «пепельный свет» лунной поверхности — след световых лучей, отражаемых Землей в мировое пространство, узнают об интенсивности и свойствах этого излучения.

Сам вопрос происхождения Луны тесно связан с историей нашей собственной планеты. Ученые до сих пор не определили, в каких родственных отношениях находятся Земля и Луна. Является ли Луна детищем Земли, рожденным из ее недр, как утверждают некоторые старые космогонические гипотезы? Или она чужая планета, которую Земля, однажды встретив в космических просторах, увлекла за собой и сделала своей жизненной спутницей? Или же, наконец, Земля и Луна — просто планеты-сестры, слепленные из одного «теста», как предполагает космогоническая гипотеза О. Ю. Шмидта?

Это не праздные вопросы. От их решения зависит, какая из гипотез происхождения самой Земли окажется правильной.

Луну издавна употребляли и для более прозаических, совсем уж земных дел. Геологи, например, так и называют Луну своим

«наглядным пособием». Не имея возможности взглянуть на свою планету со стороны, мы без этого небесного «наглядного пособия» многого в ее строении не могли бы объяснить и даже просто заметить. Благодаря же тому, что в геологическом облике Земли и Луны масса общего, ученые сделали множество открытий, касающихся земной коры, глядя в телескоп на Луну.

Заметив, что на Луне глубокие полосы разломов как бы собираются в один узел к кратеру Тихо Браге, геологи проследили направление трещин, тянущихся по земной поверхности, и поняли, что они тоже сходятся в двух центрах — Канаде и Сибири. Они увидели на Луне уменьшенное подобие того громадного рисунка, который на лике Земли начертила своей могучей рукой природа.

Какую только роль не приходилось играть Луне! Она была и «зеркалом» земного шара, и «фильтром» отражаемого нашей планетой света, и просто «стрелкой» громадных звездных часов, по которым астрономы Земли ведут счет земного времени. И столь же часто, пожалуй, обращались к Луне за помощью ученые, исследующие форму Земли.

Пока не были изобретены телеграф и радио, позволяющие передавать время на любое расстояние, долготы вершин геодезических треугольников и то определялись при посредстве Луны. И когда возникли затруднения с наземными исследованиями формы нашей планеты, геодезисты в первую очередь подумали именно о Луне.

Вспомним, с чем мы оставили исследователей фигуры Земли. Треугольники, позволяющие промерить расстояния между разными точками земной поверхности, расчертили лишь материки. Не все, конечно, и не сплошь, но суша все-таки промерена. А вот с морями и океанами хуже. Никак не уложишь на них треугольники.

Какие только проекты на этот счет не предлагались! Пытались даже перебросить треугольники через водные просторы с помощью самолетов, проложив геометрические линии по воздуху. Роль сигнальной вышки, на которой зажигают огонь, должны были играть осветительные ракеты, сбрасываемые самолетом в определенных точках. А наблюдатель с берега или с корабля должен был фотографировать их.

Попробовали — средств уходит много, а точность гораздо меньше необходимой.

Вот и остается измеренной по-прежнему лишь десятая часть всей планеты. Как тут не мечтать о сплошных градусных промерах?

И геодезисты обратились все к той же «палочке-выручалочке»

— Луне. Теперь-то нам известно, что на этот раз она не оправдала возлагаемых на нее надежд и ее работу надлежит выполнять искусственной луне.

Итак, прежде всего, земные расстояния. Их должен измерить небесный землемер, облетая вокруг нашей планеты. Казалось бы, он должен обмерять Землю так, как летает, — по спирали. Но если прочесть в газетах очередное сообщение о примерном маршруте одного из трех первых советских спутников, то в воображении складывается фантастическая картина.

Вот спутник пролетел над Москвой в северо-восточном направлении. Через несколько минут оказался уже где-то над Арктикой. Спустя некоторое время его можно было наблюдать с Американского материка. А потом он вдруг «вернулся» и появился над Москвой совсем с другой стороны. Создается впечатление, что спутник летает то туда, то обратно, а вовсе не вращается вокруг Земли.

Почему это происходит?

Мы все время говорили только о движении самого спутника. Но пока он обходит свой очередной виток, Земля поворачивается вокруг оси, и каждый следующий виток орбиты спутника будет проходить над новым ее районом. Земля как бы подставляет последовательно один участок за другим этому космическому наблюдателю.

Вот он начал свой первый оборот под углом в 65° к экватору, с юго-запада на северо-восток пересекая территорию нашей страны. Поднялся до Полярного круга. Здесь его орбита закругляется и как бы начинает спускаться вдоль другого полушария.

Обходя это закругление, спутник движется уже не с юго-запада на северо-восток, а вдоль Полярного круга — с запада на восток. А затем «ныряет» вниз, переходя на вторую половину орбиты, идущей над Америкой. Здесь он движется уже с северо-запада на юго-восток. Соскользнув до Южного полярного круга, он вновь летит некоторое время над ним и затем снова начинает карабкаться вверх по орбите.

Но когда он подлетел опять к Советскому Союзу, тот вместе с повернувшейся Землей отодвинулся в сторону, и спутник «увидел», скажем, Францию.

А еще через несколько оборотов, поднимаясь вверх, спутник оказался уже не над Европой, а над Америкой. Подлетая к нашей стране, которая теперь находилась на «той стороне» Земли, он уже не поднимался, а спускался, двигаясь, как мы с удивлением обнаружили, в обратном направлении. На это ушло всего несколько оборотов. Вот почему мы утром увидели его летящим с

юго-запада на северо-восток, а вечером — после промежутка, в который спутник летал где-то в стороне от нас и вообще не был виден, — как бы возвращающимся обратно.

Если сложить оба эти движения — спутников вокруг Земли, а Земли вокруг оси — и нанести на земную поверхность, то она окажется расчерченной причудливыми кривыми. Проекция «следа» искусственного спутника — нечто вроде синусоиды, бесконечно вьющейся по материкам и через океаны, но не поднимающейся выше полярных кругов. Она напоминает гигантский пояс-пружину, перетянувший Землю. Так, по зигзагам осматривает нашу планету ее космический спутник, и такие же зигзаги его пути видим мы с Земли.

За каждый оборот первого спутника Земля поворачивалась на 24°, подставляя ему для обозрения новый район, находящийся от первого за 2500 километров, если считать по экватору. В первую же неделю он 105 раз обежал Землю, и «след» его прочертил земную поверхность частыми зигзагами. А за месяц, пока неторопливая Луна сделает всего один обход, искусственный спутник сотни раз обежит Землю и увидит в сотни раз больше.

Остается еще добавить, что он «видит» вовсе не ту только узкую полоску, какой мы изобразили его след, а широкую полосу земной поверхности — в несколько тысяч километров в поперечнике. Поэтому пробелы на нашем воображаемом чертеже между синусоидами — это в действительности вовсе не пробелы, а тоже внимательно изученная территория.

Таким образом, уже первые советские спутники охватили своими наблюдениями значительную часть планеты. Но в наших возможностях сделать больше. Помните, как мучались ученые, когда лунный мост вытягивался совсем не там, где им было нужно, и они не могли передвинуть его? В том и преимущество искусственных спутников, что мы можем заставить их двигаться, как хотим и куда хотим.

Ученые наклонили орбиту первых трех на 65° и забросили их в ту же сторону, в которую вращается наша Земля. Но никто не помешает со временем забросить спутник в обратном направлении, как бы крест-накрест к первым и не под углом к экватору, а, скажем, перпендикулярно к нему. Тогда его «след» будет поворачивать не у Полярного круга, а пройдет через полюсы и охватит всю Землю.

Именно поэтому спутники могут обмерить земной шар буквально вдоль и поперек. Как и в случае с обычной Луной, для этого надо лишь знать скорость их движения и время, за которое они пробежали измеряемое расстояние.

Заставить спутник измерять расстояния на Земле — это

значит не тянуть в небо измерительные вышки, не повторять бесконечное количество раз промеры, не склеивать затем из сотен отдельных кусков километры расстояний. Все необходимое сделает за геодезистов послушный летающий труженик. Он же и проверит, правильно ли были проложены сети треугольников на уже промеренной поколениями людей территории.

А определяя координаты спутника и расстояние от него до земной поверхности, то есть его положение относительно центра Земли, и сравнивая эти величины с вычисленными для Земли-эллипсоида, мы получаем возможность узнать геодезические координаты разных точек земной поверхности — заманчивая задача, которую оказалось так трудно решить с помощью «зазубренной» и медлительной Луны.

Астрономы не могли определить ее координаты вернее, чем до 0,2–0,1 доли секунды. Положение же спутника находится гораздо точнее. Поэтому с его помощью будет построена, наконец, мировая геодезическая сеть — паутина из треугольников, все стороны которых и адреса вершин измерены из космоса. Эта сетка свяжет в единое целое измерения на материках и впервые произведенные линейные промеры на океанах. А по ней геодезисты вычислят более точные размеры земного эллипсоида.

Но это, как мы знаем, только первая часть задачи. Затем необходимо узнать величину силы тяжести в разных местах земной поверхности. А для этого, мы помним, необходимо не мерить, а взвешивать. Может ли спутник взвешивать Землю? Оказывается, этот универсальный космический работник способен справиться и с такой задачей.

В обычном гравиметре вес определенного грузика оказывается различным в зависимости от того, в каком месте земного шара произведено взвешивание. Нечто подобное происходит и с нашим спутником, когда он пролетает над разными по плотности участками земной коры или над вдавленными полюсами и выпуклым экватором.

Плотный горный массив притянет его сильнее, чем менее плотная вода океана. Над ним спутник станет чуточку «тяжелее» и потому помчится быстрее, а над океаном опять «полегчает» и будет двигаться чуть медленнее.

Любое изменение скорости, как мы видели на примере движения естественной Луны, тотчас сказывается на орбите. Подобно гирьке, тем сильнее растягивающей привязанную к ней резинку, чем быстрее ее вращают, спутник, увеличив скорость, отодвинется чуточку дальше от Земли, а вновь замедлив затем бег, вернется назад. И в ровной орбите появится небольшой

изгиб.

Об изменении веса грузика гравиметра геодезисты узнают по отклонениям стрелки, движущейся на измерительной шкале, а о том, гребень волны тяжести или соответствующая впадина находится в том месте, над которым спутник пролетает, — по местным «возмущениям» его орбиты.

А насколько Земля сплющена, можно судить — теперь мы знаем — по вращению плоскости орбиты спутника и степени ее сжатия. Из-за движения самой орбиты в поле тяготения сплюснутой Земли каждый следующий виток синусоиды, который вычерчивает над земной поверхностью третий советский спутник, например, проходит на экваторе не через 2500 километров от предыдущего, а, как показали наблюдения, еще километров на 25 восточнее.

На основании наблюдений за искусственными спутниками советские исследователи уже уточнили величину сжатия Земли. Такой же подсчет произвели и ученые Чехословацкой Академии наук. Об этом сообщил на ассамблее Специального комитета Международного геофизического года действительный член Чехословацкой Академии наук Иозеф Новак.

А недавно аналогичное сообщение сделали и американские геодезисты. Картографическая служба армии США и Смитсонианская астрофизическая обсерватория также вычислили сжатие Земли на основании наблюдений за советскими спутниками. И вынуждены были признать, что эта цифра очень точно совпадает с той, которую в свое время определил известный наш ученый Ф. Н. Красовский. Тогда американские ученые не согласились с выводами советских геодезистов и продолжали пользоваться эллипсоидом Хейфорда. Лишь советские спутники смогли их убедить, что международный эллипсоид был действительно вычислен неточно.

Но вернемся к нашему небесному землемеру.

Изучая изменения орбиты спутника в течение многих недель и месяцев, геодезисты получают возможность как бы прощупать поле тяготения Земли — определить все его «сгустки» и «пробелы», а значит, составить подробное представление о форме нашей планеты, породившей их.

При этом любопытно, что если отбросить сопротивление атмосферы, то сам вес спутника на характер его орбиты никакого влияния не оказывает.

Конечно, далеко не все равно, забросить на высоту тысячи километров, скажем, контейнер в 60 килограммов, каким был первый советский спутник, или в полторы тонны, как третий. Но это, так сказать, трудности доставки, и зависят они от мощности

ракеты, поднимающей спутник на орбиту.

Но когда искусственный спутник уже доставлен на орбиту и начал самостоятельно двигаться, его движение будет зависеть теперь только от скорости, которую он получил при рождении, от ее направления и от высоты над земной поверхностью той точки, откуда он начал свое путешествие.

И тяжелый и легкий спутники, получившие одинаковый «заряд» скорости в одном и том же направлении и на одном уровне над Землей, будут двигаться по одинаковым орбитам, одинаково изменяющимся под действием неравномерного поля тяготения Земли. (Это характерно, разумеется, для всех спутников, которые несравнимо меньше нашей планеты.)

Объясняется это опять-таки тем, что движение спутника происходит не благодаря какому-либо двигателю, а совершенно особым «неземным» образом — под действием силы тяжести. А ее влияние хотя и увеличивается в 10 раз на вдесятеро более тяжелый спутник, но ей и двигать такой спутник в 10 раз труднее, чем легкий. В результате же получается, что оба они будут двигаться одинаково.

Конечно, мы рассматриваем здесь спутники только с точки зрения их движения. Но они не просто двигаются, а выполняют множество важных и незаменимых исследований. И здесь их размеры играют большую роль. Каждый новый советский спутник намного крупнее предыдущего и несет гораздо больше ценных уникальных приборов. Кроме того, чем крупнее спутник, тем легче и удобнее его наблюдать, так как он отражает больше солнечных лучей. Значит, и как небесный землемер крупный спутник лучше.

Но мы рассказали еще не о всех удивительных «способностях» космического землемера. Спутник окажет геодезистам и еще одну услугу: он «измерит» земные глубины, поможет узнать строение недр Земли.

На первый взгляд это кажется совершенно уж невозможным: каким образом спутник, находящийся вне Земли, может, не заглядывая в ее недра, рассказать о том, что творится внутри нашей планеты? Но ведь, прощупывая бугры и впадины поля тяжести, спутник тем самым устанавливает и их причину.

Зигзаги в его орбите появляются в зависимости от того, почувствовал ли он, что под ним находятся плотные гранитные скалы или «мягкая» песчаная отмель, тяжелый «ком» железной руды или легкий известняк. А зная, насколько тверда наша планета и какова ее плотность в разных местах, мы сможем подойти к изучению формы Земли и с другой стороны.

Чтобы лучше понять, как это можно сделать, отправимся

снова на X Международный астрономический съезд, на заседание комиссии, где разбираются законы движения полюсов по поверхности Земли, те самые, которые однажды уже помогли геодезистам уточнить форму Земли, показав, что она не правильный, а трехосный эллипсоид. Только на этот раз речь идет не о том, какой вид имеет путь полюса, а о том, сколько времени уходит у полюса на каждый оборот.

Лот, закинутый в недра Земли

На чертеже, висящем в аудитории, где заседает эта комиссия, — знакомый нам «завиток» — след, который полюс оставляет на земной поверхности. Его внимательно разглядывают участники заседания. Они словно стараются увидеть в этих небрежных штрихах картину строения земных недр, так ярко нарисованную докладчиком.

За кафедрой — советский астроном, приехавший на съезд из Полтавы, Е. П. Федоров. Сообщение, которое он только что сделал, вызвало у собравшихся живейший интерес. Но больше всего оно взволновало и обрадовало, пожалуй, англичанина Г. Джефриса, который считал когда-то вес дождевых капель и снежинок, выпадающих на всем земном шаре, и стремился доказать, что именно они заставляют полюс дополнительно покачиваться во время пути, делать лишние зигзаги.

Подумать только, как близки оказались теперь их выводы: то, к чему этот советский астроном пришел, изучив огромное количество произведенных по всей Земле наблюдений за движением полюса, он, Джефрис, получил, строя теоретические модели Земли.

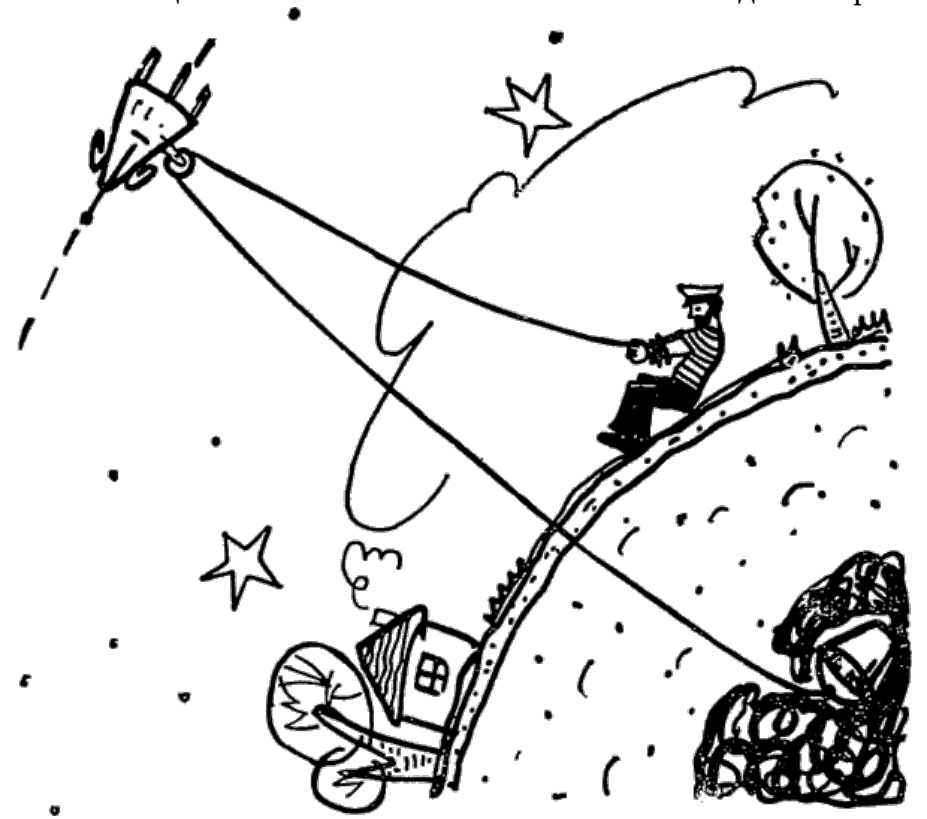
«Движение полюсов, строение земных недр, спутник и съезд астрономов — а при чем же здесь определение формы Земли?» — подумает иной читатель. Но дело в том, что все эти, казалось бы, такие разные проблемы самым причудливым образом переплетаются в современной геофизике — еще одной науке, которая участвует в изучении земной фигуры.

Вопрос о том, какую форму имеет Земля, уже в эпоху установления закона всемирного тяготения приобрел геофизический характер. Ньютон считал, что Земля в ту пору, когда складывалась ее фигура, была жидкой, расплавленной. Исходя из этого, он строил свои выводы о ее сжатии. По его подсчетам, оно вышло равным $^1/_{230}$. В действительности, как

известно, оно оказалось несколько меньше. Почему так получилось?

Ньютон высчитывал сжатие для жидкой однородной Земли. А один из его противников в споре — Христиан Гюйгенс пришел совсем к иным выводам. По его мнению, частицы твердой Земли, какой она была в его представлении, будут притягиваться не друг к другу, как считал Ньютон, а каждая из них — к центру Земли. Сжатие для такой Земли, у которой вся масса как бы сосредоточивалась в центре, оказалось равным $^1/_{576}$.

Но вот удивительно. Действительное сжатие Земли отличалось от того, которое вычислил Ньютон для жидкой однородной планеты, всего на треть. Получалось, что наша Земля все-таки близка по свойствам к однородному жидкому телу. Конечно, не такому, как ньютоновская, всюду одинаковая по плотности Земля, масса которой распределена равномерно по всей ее толще. Но все-таки она очень напоминала жидкий шар.



Вот почему, вернувшись из знаменитой экспедиции в Лапландию и вычислив на основе произведенных на экваторе градусных измерений действительное сжатие Земли, французский академик Клеро заявил, что Ньютон в общем был не очень далек от истины, когда говорил, что Земля жидкая.

Она только не вполне однородна. По мнению Клеро, слои Земли, более близкие к центру, по-видимому, плотнее верхних. Из-за этого частички Земли будут притягивать друг друга несколько иначе, чем получалось у Ньютона, и, значит, иным будет ее сжатие.

Выходило, что форма Земли зависит не только от развивающейся при ее вращении центробежной силы, которая стремилась ее сплющить, но и от ее внутреннего строения. У действительной Земли в центре расположены более плотные массы, и потому центробежная сила сжала ее меньше. А если бы вся масса была сосредоточена в центре Земли, наша планета сплющилась бы еще меньше. «Выходит, если знать скорость вращения Земли и распределение плотности внутри нее, можно определить ее фигуру», — решил Клеро. Таким образом, проблема формы Земли была сведена к нахождению формы, которую может принимать вращающаяся жидкая масса определенной плотности.

Изучая движение частиц такой жидкости, Клеро пришел к выводу, что их можно рассматривать как бы находящимися в равновесии под действием двух противоположных сил — тяжести и центробежной. Это очень облегчало задачу. Вместо того чтобы определять форму, какую принимает при вращении жидкая масса, достаточно было найти условия, при которых частицы ее будут находиться в равновесии.

Клеро нашел условия такого равновесия и выразил зависимость между формой Земли, скоростью ее вращения и строением недр математической формулой. Это было двести с лишним лет назад.

Математическое решение нашли, но тогда не была известна даже примерная средняя плотность всей Земли, не говоря уже о подробном распределении различных масс внутри нее. Не было тогда и самой науки, занимающейся теперь исследованием физических свойств нашей планеты.

Первые же шаги геофизики убедили, что Земля — твердое тело и, стало быть, не может вращаться, как жидкость. Это мнение, возможно, считалось бы справедливым и в наши дни, если бы не неугомонный путешественник — полюс.

В 90-х годах прошлого века исследование путешествия полюсов представляло собой одну из самых «модных» астрономических проблем. После того как обнаружили это любопытное явление, многие обсерватории земного шара принялись наблюдать за необычным путешественником. Делались даже попытки предсказать его возможные координаты. И вот тут-то и выяснилось, что это скорее геофизическая, чем

астрономическая задача.

По подсчетам ученых получалось, что полюс должен вернуться на прежнее место через 305 дней, то есть примерно через 10 месяцев. Но первые же наблюдения убедили, что в действительности полюс движется гораздо медленнее. Он завершал свой путь за 427–430 дней, почти за 14 месяцев. Отчего это могло быть?

Поиски таинственной причины, удлиняющей время движения полюсов, продолжались бы, вероятно, и до сих пор, если бы один из астрономов не усомнился в том, что наша Земля твердая. Ведь 305 дней должно было уходить на путешествие полюса именно по совершенно твердой Земле.

А что, если Земля не совсем твердая, а упругая? Тогда, «болтаясь» на оси, она будет как бы пружинить. При этом возникнут упругие сопротивления, и Земля не сможет отклониться далеко. В результате скорость «качания» земного шара уменьшится, и движение полюсов затянется вместо 10 до 14 месяцев.

На более «мягкой» Земле полюс путешествовал бы еще дольше. Если же наша планета состояла бы не из гранитов и базальтов, а, скажем, из воды, то в такой податливой массе полюс совсем бы не мог передвигаться — вернее, его перемещения нельзя было бы отличить от движения самой воды.

Если судить по движению полюса, получалось, что Земля действительно не совсем твердая.

Это наблюдение послужило началом целой серии интереснейших работ, которые привели геофизиков к пониманию того, как твердое тело может одновременно обладать и свойствами жидкости. Решающее значение оказали исследования в области высоких давлений и температур.

Про подвергнутые колоссальному сжатию, сильно нагретые тела нельзя сказать, твердые они или жидкие. В подобных условиях эти далекие понятия сближаются, так как возникает совершенно новое состояние вещества. Кусок мрамора, если его долго и сильно сдавливать, становится пластичным и даже текучим. Подобно мягкой глине, он образует точный слепок той формы, в которую был заключен. В то же время парафин, например, становится в этих условиях таким твердым, что им можно, как штампом, сделать вмятину в стальной пластине.

Эти опыты дали некоторое представление о том, как могут измениться свойства вещества земных глубин, сжатого с огромной силой и не менее сильно разогретого. Земля оказалась одновременно тверже стали и мягче воска. Вот почему, оставаясь твердой, она вращается, как густая жидкость, и послушно

принимает ту форму, которую ей придает центробежная сила.

Но раз так — значит, можно определять ее фигуру просто по формуле Клеро? Конечно, можно, если будет известно, насколько же наша Земля тверже привычных нам жидкостей и всюду ли она одинаково мягка. А вот этого точно и не знает современная геофизика.

Какие только хитроумные приемы не использовали ученые, чтобы разгадать строение недр Земли! Они отправляли путешествовать по земным глубинам «эхо» от искусственных землетрясений. Пробираясь среди плотных и мягких пород с разной скоростью, эхо возвращалось назад к земной поверхности и докладывало ученым обо всех встреченных «трудностях».

Но дальше, чем до половины земной толщи, ему не удавалось добраться. Ниже находилось таинственное ядро планеты, которое отбрасывало, не пропускало через себя сейсмические волны.

Геофизики обратились за помощью к Луне.

Подобно механической пружине, Луна растягивает Землю, как бы пробуя, насколько она упруга. Мы видим непосредственно только один явный результат этого «космического опыта»: дважды в сутки, поддавшись притяжению Луны, поднимается горбом вода в океане и стремительно мчится на берег.

А раз наша Земля не совсем твердая, значит она тоже должна растягиваться под действием лунных сил? Другими словами, должны быть какие-то приливы и в самом теле Земли?

Ученые заставили Луну сообщить им о результатах эксперимента, который спутница Земли производит над нашей планетой в природной лаборатории. Так стало известно о существовании «твердого» прилива в земной коре. Теперь предстояло измерить его высоту.

Задача это необычайно трудная. Дело в том, что твердый прилив гораздо меньше океанского. На широте Москвы он равен всего 50 сантиметрам. По сравнению с земным диаметром — величина совершенно микроскопическая. Главное же, что хотя дважды в сутки москвичи, подобно плывущему по морю кораблю, поднимаются и опускаются на полметра, они этого не замечают. Твердый прилив невидим — ведь на гребне твердой волны вместе с нами поднимаются и здания и улицы.

Измерить его величину удалось, когда сообразили, что вместо самой высоты твердого прилива можно определять изменения веса какого-нибудь предмета, поднимающегося на гребне его волны. Отдаляясь от центра Земли, любой предмет дважды в сутки должен становиться чуть легче.

Конечно, полметра — ничтожное расстояние, и потеря веса тут просто трудновообразима, но современные приборы

улавливают и такие величины. Их измеряют с помощью очень чувствительных гравиметров и особых, горизонтальных, маятников.

Теперь по величине этого твердого прилива можно было постараться узнать, насколько «мягка», податлива наша Земля.

Известный советский ученый, член-корреспондент Академии наук М. С. Молоденский добился в этой области больших успехов, но ему не удалось прийти к окончательному решению — доказать, твердая или жидкая наша планета внутри.

Геофизики вернулись к самой Земле. Есть еще один способ узнать, из чего сложены ее недра. Это можно определить по тому, насколько сильно замедляются обороты земного шара вокруг оси.

Известно, что когда надо определить сырое (жидкое внутри) или вареное (с твердой серединой) яйцо, его крутят. И вот перед нами вращающееся «яйцо» — Земля. Как же определить, какой она густоты?

Опять обратились к неугомонным путешественникам — полюсам. Ведь по времени их отставания от теоретического «расписания» можно судить не только о том, твердая вообще Земля или нет, но и в какой степени она упруга.

Благодаря этому способу удалось подойти к разгадке строения нашей планеты еще ближе. По исследованиям советского астронома Е. П. Федорова получилось, что внутри относительно твердой Земли находится жидкое ядро, с поперечником около 6 тысяч километров. К похожему выводу пришел и англичанин Г. Джефрис.

Теперь своим новым помощником геофизики избрали искусственный спутник, который дает возможность прощупать не только поле тяготения вокруг Земли, но и как бы заглянуть в ее недра. И есть все основания надеяться, что этот «лот», заброшенный в земные глубины из космоса, представит уже несравненно более точную картину строения внутренности нашей планеты.

Сколько Земель до Солнца?

Когда французский Конвент утверждал метр как часть земной окружности, предполагалось, что с размерами Земли будут сравниваться лишь земные расстояния.

Но вот астрономам потребовалось узнать, насколько отстоят от нас наши соседи — Марс, Венера, Юпитер, Плутон и другие

планеты солнечной системы. Да и само Солнце — как далеко оно от Земли? И оказалось, что размеры нашей солнечной системы и вообще все расстояния в космосе, будь то длина пространства, отделяющая от нас ближайшую галактику или самую далекую, едва мерцающую звезду, можно определить, только зная величину Земли.

Здесь уже не обойтись крошечной мерой — 40-миллионной долей земного меридиана. На этот раз в ход приходится пускать весь земной диаметр целиком.

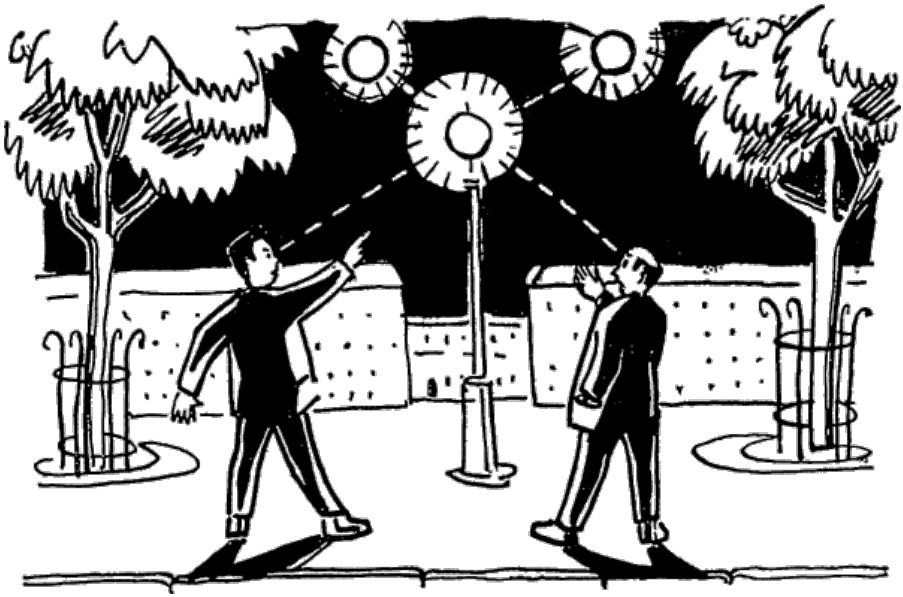
Как же измеряют расстояния до небесных тел? Разумеется, никто и не думает укладывать земной диаметр на всем протяжении от Земли до звезды. Космические расстояния нельзя измерить непосредственно, приложив к ним даже самую большую линейку. Чтобы сделать это не сходя с места, ученым пришлось применить хитроумный прием.

Поставьте на стол зажженную лампу и посмотрите на нее, зажмурив сначала левый, затем правый глаз: лампа как бы отскочит в сторону. Отчего это происходит?

Когда мы смотрим двумя глазами, изображение лампы, видимое каждым глазом отдельно, проецируется на ось, проходящую ровно посредине между обоими глазами. Закрывая по очереди то один, то другой глаз, мы как бы разъединяем это изображение на два и рассматриваем каждое из них поврозь. Вначале видим лампу так, как ее видит правый глаз, а закрыв его — так, как она видна левому глазу.

Величина промежутка между левым и правым изображениями лампы зависит от расстояния, на котором находятся друг от друга оба глаза, — оно называется базисом. Если базис будет больше, то и лампа «скакнет» сильнее.

А теперь поставьте лампу в дальний конец комнаты и проделайте то же самое. Хотя базис остался прежним, расстояние, на которое перемещается лампа, стало меньше, так как мы смотрим на нее издалека.



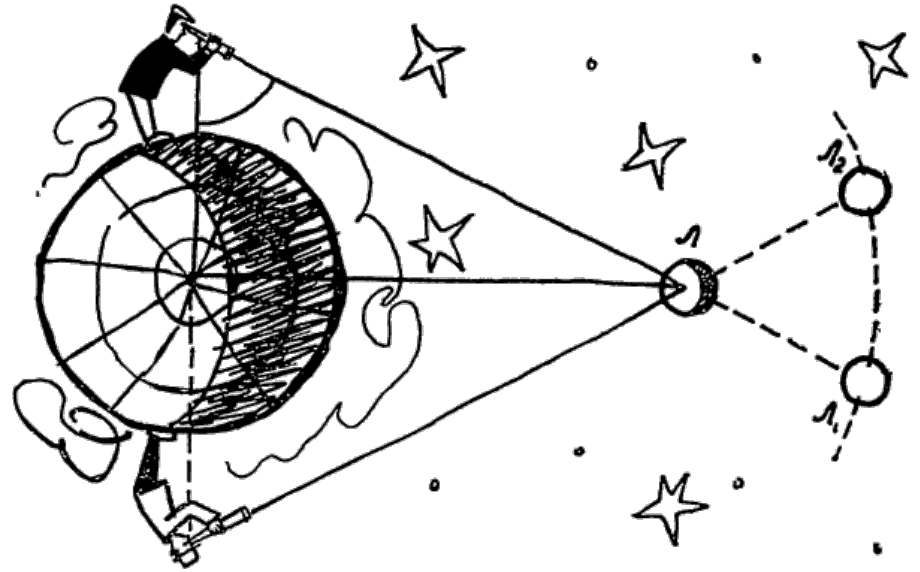
Выходит, что по величине такого «скачка» при одном и том же базисе можно судить, как далеко находится наблюдаемый нами предмет. Этот способ и применяют астрономы для измерения расстояний до небесных тел. Только базис приходится брать не такой маленький, как в нашем домашнем «опыте», а длиной в тысячи километров. Им служит диаметр Земли.

Один из наблюдателей располагается с одной стороны земного шара, а другой — в противоположной точке, на другом конце земного диаметра. Если бы можно было мгновенно перелететь из одного такого пункта наблюдения в другой, то мы увидели бы, как Луна, например, подобно нашей лампе, совершает по небу скачок. Величина его, как мы уже знаем, зависит от длины базиса.

А если мы теперь с концов того же базиса будем смотреть на какую-нибудь более далекую планету, например на Марс? Его скачок, как и в случае с лампой, которую мы поставили в дальний угол комнаты, покажется нам не столь большим, как у близкой Луны.

Итак, чтобы подсчитать, на каком расстоянии от Земли находится Луна или любая другая планета, надо знать, чему равен земной диаметр и насколько «сдвигается» небесное тело, если смотреть на него сначала с одного конца этого диаметра, а потом с другого.

Это кажущееся перемещение небесного тела называется параллаксом. Определить расстояние до Луны, Солнца или звезд — это значит прежде всего найти их параллакс.



Если мысленно пункты наблюдения, находящиеся на концах невидимого земного диаметра, соединить воображаемыми прямыми с Луной хотя бы, то космическое пространство между Землей и Луной перережут два громадных треугольника. Одна сторона каждого из них известна — это радиус нашей планеты, или половина базиса, а другая и есть расстояние между Луной и Землей, которое надо узнать.

В упрощенном виде эту задачу может решить уже и школьник. Ведь треугольник прямоугольный, в нем известен один из катетов и величина острого угла в вершине — она установлена при определении параллакса.

Когда планеты подходят совсем близко к Земле, расстояние до них можно определить и с помощью меньшего базиса — какой-нибудь части земной окружности. В 1672 году, во время очередного противостояния, когда Марс, обычно находящийся на расстоянии свыше 100 миллионов километров, подошел к Земле почти вдвое ближе, ученые попытались измерить точное расстояние до него с концов базиса, протянувшегося от Парижа до экватора. Именно за этим и послали в Кайенну злополучного астронома Рише, снабдив его «точнейшими», как тогда считали, часами.

Но для звезд, находящихся гораздо дальше планет нашей солнечной системы, даже такой огромный базис, как 12-тысячекилометровый диаметр Земли, оказывается мал. Поэтому их параллакс определяют с противоположных концов земной орбиты — из точек, разделенных почти 300 миллионами километров. Разумеется, эти наблюдения приходится производить не одновременно, а с промежутком в полгода.

Теперь невидимый треугольник становится в десятки тысяч раз больше. Одна сторона его — это тоже радиус, но только радиус не Земли, а земной орбиты, а другая (ее и предстоит найти) соединяет центр земной орбиты — Солнце — со звездой, расстояние до которой мы хотим измерить.

Казалось бы, наблюдаемая с разных концов громадной орбиты Земли звезда должна совершить большой скачок. Но в действительности звезды так невообразимо далеки от нас, что обнаружить их параллакс чрезвычайно трудно. Эта задача равносильна тому, как если бы мы хотели разглядеть за несколько десятков метров колебание волоса, гораздо меньшее по величине, чем его толщина.

Когда подобное ювелирное занятие впервые увенчалось успехом, газеты писали, что «лот, закинутый в глубины мироздания, достал, наконец, дна».

Это произошло в 1835 году, а первым, кому удалось осуществить такое тонкое измерение, был уже известный нам астроном В. Я. Струве. Звезда, расстояние до которой он определил, — одна из ближайших к Земле. Это Вега.

Самый быстрый известный нам путешественник — свет пробегает за секунду 300 тысяч километров. И все же ему надо затратить целых 27 лет, чтобы добежать от Веги до Земли. Однако это совсем небольшое расстояние в звездном мире. У космического океана нет «дна». Наиболее далекие из известных нам звезд — Денеб, Бетельгейзе и Беллатрикс — находятся от нас на таком огромном расстоянии, которое почти невозможно осмыслить. Стремительный луч света летит от них полтысячелетия и больше.

В. Я. Струве, определивший расстояние до нескольких сотен звезд, за свой научный подвиг — так тогда и говорили — был назван «первым астрономом России».

Сейчас точно известно, насколько удалены от нас многие тысячи звезд. Установлены размеры не только нашей солнечной системы, но и той громадной звездной семьи, в которой она является рядовым членом.

Мы знаем теперь, что вдоль радиуса нашей Галактики луч света бежал бы 50 тысяч лет, от Солнца же до ее центра путешествовал бы 35 тысяч лет. А ведь наша Галактика не является особо крупной, и по соседству от нее находится бесчисленное множество других звездных архипелагов. Только в той части неба, которая доступна современным телескопам, галактик насчитывается около миллиарда. До самой близкой из них, находящейся в созвездии Андромеды, примерно в 15 раз дальше, чем до самых далеких областей нашей Галактики. Свет

от нее летит до Земли больше миллиона лет.

И все-таки эти чудовищные расстояния измерены человеком. А задумывались ли вы над тем, что они не были бы нам известны, если бы мы не знали размеров своей планеты?

Но, по-видимому, когда дело касается звезд, диаметр или радиус Земли ни при чем. Ведь там берется совсем другой диаметр — диаметр земной орбиты или ее радиус. А что это, как не расстояние от Земли до Солнца, которое вычислено с помощью все того же земного диаметра?

Больше того, какие бы космические дали мы ни меряли, в конечном итоге все равно придем к обычному метру: чтобы представить себе наглядно величину даже неимоверно больших звездных расстояний, мы должны сказать, сколько в них метров.

Это может показаться неправдоподобным. И действительно, было бы смешно пытаться считать огромные космические расстояния в малютках метрах. Они выражались бы тогда поистине «астрономическими» цифрами — с десятками, а то и сотнями знаков.

Чтобы этого избежать, в астрономии пользуются другими, гораздо более крупными единицами: парсеком, световым годом и единицей, не имеющей специального наименования, которая просто так и называется «астрономическая единица».

Парсек — это расстояние до звезды, параллакс которой равен одной угловой секунде. А световой год — это расстояние, которое луч света пробегает в течение года. И когда мы говорим, что от созвездия Андромеды, предположим, свет идет до нас миллион лет, то это и значит, что до нее миллион световых лет.

Астрономическая же единица — это радиус земной орбиты, или расстояние от Земли до Солнца. В астрономических единицах указываются обычно расстояния в пределах солнечной системы. Земля, таким образом, находится от Солнца на расстоянии одной астрономической единицы. А если мы говорим, что Плутон, скажем, в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля, то это обозначает, что от него до Солнца 40 астрономических единиц.

Можно одно и то же расстояние выразить во всех трех единицах. Так, если от Земли до Солнца целиком укладывается одна астрономическая единица, то от светового года на этом расстоянии поместится только маленькая часть: свет от Солнца до нашей планеты добегает за $8^1/_3$ минуты. А парсеков — вернее его долей — на том же отрезке уложится еще меньше — всего $^1/_{206\,265}$ часть. Ведь один парсек равен 3,26 светового года, или 206 265 астрономическим единицам.

Но сколько бы мы ни переводили парсеки в световые годы, а их в астрономические единицы, как бы ни поражало нас обилие

световых лет, укладывающихся от нашей планеты до соседней галактики, мы все равно не сможем сказать, сколько же это все-таки, чтобы не упомянуть метры.

В самом деле. Что такое парсек? Это не просто неизвестно чем промеренное расстояние до звезды. Ведь ее параллакс измерен, в конечном счете, с помощью базиса, которым является диаметр Земли. И все стороны космических треугольников будут вычислены в долях земного диаметра, который, в свою очередь, равен 12 с лишним тысячам километров. И, разумеется, это же самое относится к астрономической единице. Длина ее — не что иное, как 150 миллионов земных километров.

Световой год так же непонятен сам по себе, как и парсек или астрономическая единица, пока не станет известно, сколько же километров проходит луч света за то или иное время. Вот почему, какие бы расстояния мы ни мерили — между близкими «звездными городами» или далекими «островами» из звезд, — мы всегда сравниваем их с размерами нашей планеты.

Радиус Земли является как бы «неразменным рублем», который остается одинаковым и неизменным при всех переходах от звездных величин к обычным. Он представляет собой связующее звено между измерениями в пределах непосредственно доступного человеку земного пространства и косвенными измерениями в космосе.

Может показаться, что большого значения точные размеры Земли при этом не имеют. Ну, насколько изменится наше представление о расстоянии от Земли до Солнца, насчитывающем не один десяток миллионов километров, или о еще большем поперечнике всей солнечной системы, исчисляющемся уже миллиардами километров, если окажется, что радиус Земли составляет не 6375, а 6378 километров? Казалось бы, это должно пройти незамеченным.

Но астрономы подсчитали, что если из-за уточнения размеров нашей планеты параллакс Солнца изменится всего на одну сотую долю секунды, то в астрономическую единицу придется внести весьма солидную поправку — прибавить к ней или, наоборот, отнять от нее целых 170 тысяч километров. А изменение величины радиуса Земли всего на 100 метров означало бы, что поперечник солнечной системы вычислен с ошибкой в 185 тысяч километров.

Это все касается размеров Земли. А играет ли какую-либо роль ее форма? Или, того больше, развиваемая ею сила тяжести? Одинаковая она на всей Земле или нет, ровное поле тяготения вокруг нашей планеты или нет — это уж, по-видимому, не имеет никакого отношения к взаимным расстояниям небесных тел.

Посмотрим, что получается в действительности.

Мы не можем узнать ни одного звездного расстояния, не определив вначале расстояние до Солнца. Ведь с концов маленького земного диаметра мы не увидим, как «скачут» звезды. А чтобы смотреть на них с разных концов земной орбиты, и надо знать расстояние от Земли до Солнца. Для этого же необходимо, как вы помните, измерить солнечный параллакс. Но измерить его достаточно точно не удается из-за большой величины солнечного диска. Вот почему параллакс Солнца большей частью не определяется из наблюдений, а вычисляется, исходя из размеров лунного (или из наблюдений планет при их наибольшей близости к Земле).

Видимый диск Луны хотя и не намного меньше солнечного, но зато находится гораздо ближе и удобнее для наблюдений. Но именно потому, что Луна по сравнению с Солнцем очень близка к Земле, точная величина ее параллакса зависит даже от такой детали, как был ли в месте наблюдения выступ или впадина, то есть не только от размеров, но и от точной формы Земли.

А если попытаться, скажем, определить массу Солнца? Придется сравнить силу, с которой будут притягивать одинаково удаленный предмет Солнце и Земля. Величина этой силы, как известно, зависит от расстояния, на каком она действует. Таким образом, и в этом случае необходимо знать солнечный параллакс. Причем на сей раз мы попадаем в еще большую зависимость от нашей планеты — ведь вес Солнца, как и любых других небесных тел, впрочем, нельзя вычислить, не зная и веса Земли.

Выходит, что мы не можем измерять расстояния в космическом пространстве, если не известны какие-то определенные величины, зависящие от размера Земли: радиус земного шара, лунный и солнечный параллаксы. Эти величины называются фундаментальными постоянными астрономии.

Но столь же важно, оказывается, знать силу тяжести на сплюснутом полюсе и на выпуклом экваторе, величину центробежной силы, сжимающей Землю, и земную упругость, препятствующую этой силе сплюснуть Землю в полную меру своих возможностей. Другими словами, нужны все те исходные величины, без которых, как мы уже видели, нельзя определить точную форму Земли и силу земного притяжения. Они тоже являются фундаментальными постоянными, зависящими от размера земного шара и от его формы.

Определить точную форму Земли — и значит найти фундаментальные постоянные, связанные с ее размерами, строением недр, вращением, развиваемой ею силой тяжести, то есть те величины, без которых нельзя было бы ни измерить просторы вселенной, ни взвесить звезды и галактики — осуществить все то, что делает современную астрономию точной наукой. Выходит, что без знания истинной формы Земли мы не

можем получить правильных представлений о всей вселенной.

Сейчас все эти опорные вехи вычислены очень приблизительно — так же, как лишь приблизительно известна фигура нашей планеты. Вот почему в системе современных фундаментальных постоянных астрономии есть противоречия. Так, параллакс Солнца, измеренный с помощью Луны, не соответствует, например, принятому в астрономии значению массы Земли и т. п.

Происходит это потому, что действительная Земля очень отличается от той «теоретической», как говорят астрономы, Земли, которую они сейчас принимают за основу всех своих измерений. Ведь в астрономии до сих пор Земля считается ровненьким эллипсоидом — даже не трехосным, а еще более неточным, всего с двумя осями.

И все современные значения фундаментальных постоянных относятся именно к этой упрощенной Земле.

Пользоваться такими неточными «инструментами» при исследовании вселенной становится все труднее и труднее. Вот почему астрономы все чаще начинают поговаривать, что им нужны более правильные фундаментальные постоянные. А их может доставить только геодезия, определив истинную форму нашей планеты.

При этом любопытно, что с помощью естественной Луны удалось бы определить только две из них — сжатие Земли и ее размер. А искусственный спутник позволяет определить все до одной величины, характеризующие, по современным представлениям, форму нашей планеты.

Почему тяжесть тяжелая

Корабль летел в космосе. Свободный, независимый, не подверженный силе земного притяжения…

Среди черной бездны, наполненной звездами, показался исполинский ятаган Луны с блестящим, иззубренным темнотой лезвием. Поднята металлическая шторка на одном из «окошек» — и лунное тяготение, отражавшееся необычным «волшебным» составом, которым был покрыт корабль, пробилось, наконец, в эту отдушину. Притянутый Луной корабль стал падать…

Такого вещества нет в природе. Чудесное вещество без веса, тела из которого не имеют тяжести, создано лишь воображением фантастов. Чтобы превратить волшебную сказку в реальность,

надо разгадать природу тяготения.

Всепроникающая таинственная тяжесть, от которой нельзя ни спрятаться, ни заслониться, — в чем ее природа, почему она «тяжелая»? — волнующий вопрос, одна из интереснейших проблем современной науки.

— Тяготение — это сила, с которой тела действуют друг на друга, — говорил в XVII веке Ньютон.

— Никакой силы тяготения нет, — возражал три столетия спустя Альберт Эйнштейн. Есть движение тел по инерции в материальном пространстве, в той или иной степени искривленном. Его искривление, влияющее на свободное движение тел, мы и принимаем за тяготение.

Согласно Ньютону, Земля движется по эллиптической орбите под действием тяжести, тянущей ее вниз, и под действием инерции, толкающей ее прямо вперед. По Эйнштейну, она движется только по инерции. Путь ее представляет прямую линию в искривленном пространстве.

— Тяжесть — это органическое свойство материи, ее способность образовывать поле тяготения, — ответят современные физики, если вы спросите их, что же все-таки такое эта непонятная тяжесть. Вот, пожалуй, все, что они смогут сказать, хотя спроси вы их, где рождается и как «устроено» электрическое или ядерное поле, они не только подробно обрисуют их «внутренность», но даже покажут вам «фотографии» мельчайших «частичек», образующих эти поля. Современная наука глубоко проникла в микроструктуру электромагнитного и ядерного полей и может объяснить, что происходит «внутри» поля на языке атомной азбуки.

Такие же поля, как вокруг Земли или Солнца, но только гораздо меньшие, образуются внутри любого атома — возникают вокруг частиц, из которых состоит атом. Те из них, которые имеют электрический заряд, как отрицательный электрон или положительно заряженный позитрон, например, образуют магнитное поле. Находящиеся в ядре атома протоны и нейтроны создают вокруг себя ядерное поле, так как они обладают особым ядерным зарядом.

Частицы, входящие в состав атома, непрерывно пульсируют, колеблются, выделяя при этом какую-то «порцию» энергии, если можно так сказать, которая поглощается другой частицей, высылающей взамен новую «порцию». Благодаря подобному обмену между ними и возникает то, что мы называем полем.

«Порции» электромагнитного поля — это фотоны, крошечные «сгустки» света. Быстро мчащиеся от одной заряженной частицы к другой, они как бы все новыми и новыми «веревочками»

связывают их друг с другом. Такая же электромагнитная «веревочка» привязывает сами эти частицы к атомному ядру.

А внутри ядра роль «связующих нитей» играют пи-мезоны — очень быстрые элементарные частички, ближайшие родственники тех, взаимодействие между которыми они переносят. Они-то и являются «порциями» ядерного поля, которыми обмениваются между собой частицы, составляющие атомное ядро.

Эти же «нити», как бы постоянно натягиваемые быстро летающим взад-вперед «челноком», и образуют невидимую «ткань» электромагнитного и ядерного полей. Земля, Солнце и любые другие намного меньшие тела, обладая, как и внутриатомные частицы, электрическим или аналогичным магнитным зарядом, начинают излучать электромагнитное поле, подобное тому, которое испускают электроны, находящиеся внутри атома, только более «дальнобойное». Но, как и крошечное электромагнитное поле внутри атома, переносят его фотоны.

Фотоны света, мчащиеся к нам от Солнца, — это и есть «порции» его электромагнитного поля, невидимой основой протянувшегося в мировом пространстве. А какой «челнок» натягивает около Солнца или возле нашей Земли «нити» тяготения?

В 1927 году советский физик Д. Н. Бернштейн высказал предположение, что должны существовать и «порции» тяготения. Эта мысль получила свое дальнейшее развитие в работах Д. Д. Иваненко. Как представляется по этой теории «механика» тяготения?

По-видимому, любое тело непрерывно излучает «порции» тяготения. Вылет каждой из них сопровождается реактивным толчком в обратном направлении. Но поскольку эти «частички» тяжести разлетаются во все стороны равномерно, то само излучающее их тело не испытывает толчка. Или, если говорить точнее, все толчки уравновешивают друг друга.

Но так может происходить, когда пространство вокруг тела свободно. А если мы приблизим к нему другое такое же тело, излучающее, как и первое, во все стороны «порции» тяготения? Тогда таких «порций» между телами окажется больше, чем с внешних сторон. И, значит, в более насыщенное пространство — в промежуток между исследуемыми телами — их будет излучаться меньше.

Почти все «порции» тяготения будут вылетать в свободное пространство, то есть в противоположные стороны. Теперь уже их толчки не уравновесят друг друга. Каждая новая «порция» тяготения, выплеснутая в направлении свободного пространства, будет подталкивать тело к его соседу. Тела начнут сближаться,

как бы притягиваясь друг к другу. Получается, что тело, мечущее «порции» тяготения, представляет собой как бы реактивный двигатель, который и «тянет» его к другому телу. Так ли это?

Физики сумели «увидеть» невообразимо крохотные, даже по сравнению с частичками, составляющими атом, фотоны: они сфотографировали их след, измерили энергию, также досконально описали свойства пи-мезонов. Но ни один сверхточный эксперимент не обнаружил до сих пор таинственных «гравитонов», как условно назвали мельчайшие «порции» тяготения, ни внутри атома, ни внутри атомного ядра, ни в лучах солнечного света, ни в поле тяготения Земли. Хотя между телами, обладающими хоть какой-нибудь массой, в том числе и между элементарными частицами атома, как мы знаем, неизменно возникает не похожее на другие поля — поле тяжести.

Все тела, рождая какое-либо поле, расходуют на это часть своей массы. Солнце, например, за счет электромагнитного излучения каждую секунду «худеет» на 4 с лишним миллиона тонн. Но почему не обнаружено даже ничтожных потерь в весе при образовании поля тяготения? За счет чего же работает загадочный «реактивный двигатель»?

От любого другого поля можно загородиться, поставив на пути фотонов или пи-мезонов непроницаемый для них экран. Ведь внутриатомные частицы или заряженные тела могут не только притягиваться друг к другу под влиянием возникающего между ними поля, но и отталкиваться друг от друга. Характер их взаимоотношений зависит от того, одинаковый у них заряд или нет.

Поле тяжести не знает никаких преград. Неумолимое, всесильное, оно проникает сквозь любые толщи любого вещества. Тела, между которыми оно возникает, всегда только притягивают друг друга.

Если верить сообщениям зарубежной печати, в последнее время предпринимались попытки обнаружить, не может ли сыграть роль «щита», заслоняющего нашу планету от испускаемого Солнцем тяготения, Луна. Для этого надо было суметь отделить «солнечное» тяготение.

До сих пор мы все время говорили о земных причинах, изменяющих вес одних и тех же предметов в зависимости от того, где и в какое время суток их взвешивали. Это были: сжатие Земли, центробежная сила — разная на полюсах и на экваторе, и, наконец, твердый прилив, уменьшающий вес даже тех предметов, которые никуда не переезжают.

Но притяжение Солнца и Луны, вызывающее приливы в самом теле Земли, влияет и на вес земных предметов. Солнце и

Луна тянут их к себе и тем самым не дают Земле притягивать тела в полную мощь. Вот почему в новолуние, когда усилия Луны и Солнца направлены в одну сторону, все земные тела становятся чуточку легче, чем в остальные дни месяца.

«Солнечные» изменения в весе страшно малы. Поэтому обнаружить их очень трудно. А если на пути тяжести, изливающейся из Солнца, окажется Луна? Может быть, солнечное тяготение не пройдет сквозь нее и все тела в этот момент «полегчают»? Но, как показывает практика, загородиться от тяготения удалось пока лишь авторам фантастических романов.

Настолько велика разница в характере поля тяжести и других известных полей, что многие ученые справедливо сомневаются, существуют ли эти самые гравитоны или тела тяжелые вовсе не потому, что они их излучают.

Окажется ли тяжесть «сотканной» из гравитонов, построенной из других «кирпичей» или даже вовсе без них, а разгадка природы тяжести — впереди.

Представим себе такое время, когда ученые заставят тела испускать меньшее поле тяжести. И, послушные человеку, такие тела вдруг станут легче. Захотят — и вообще ни одна «порция» тяготения не вылетит наружу. Произойдет удивительнейшее чудо: тело лишится тяжести, и его можно будет прямо с Земли забрасывать в космические дали.

И тогда не со страниц фантастического романа, а с реальной Земли поднимутся в космос невесомые корабли и отправятся путешествовать по вселенной — свободные, сильные своей независимостью от оков тяжести, как те, которые создал когда-то своим воображением мечтатель-фантаст Уэллс.

Но имеет ли все это какое-нибудь отношение к геодезии? Ведь, определяя форму Земли, ученые измеряют, так сказать, величину тяжести, а не ее «качество»? Не все ли равно, каково «внутри» поле тяготения, окружающее Землю, если нам важно знать распределение силы тяжести по земной поверхности? Вспомним, что сила тяжести в том или ином месте зависит от того, какое строение имеет здесь земная толща: плотная она или нет. А свойства любых пород зависят в конечном счете от того, как устроены их молекулы и атомы.

Выходит, что тяжесть рождается в атомах вещества Земли. А мы уже знаем, что атом — это как бы горсточка крохотных частичек, накрепко связанных друг с другом большими и маленькими полями. «Нити» тяжести и электромагнитные «веревочки» цепко держат эти частички, привязывая их к ядру атома, не давая им разлететься в разные стороны. А аналогичные «нити», только еще более прочные, не дают рассыпаться и самому

ядру.

Больше того, все сильнее и сильнее склоняются физики к тому, что и сами внутриатомные частицы — это не «крупинки» вещества, как думали еще совсем недавно, а продолжение все того же поля, как бы наиболее возбужденные его части.

Получается, что поле тяжести существует не только вокруг планеты, но и сама наша Земля — это своего рода колоссальное скопление крохотных полей тяжести. Вот почему, меряя тяжесть в различных местах Земли, геодезисты говорят, что они определяют поле тяжести. Измерить поле тяжести на земной поверхности — это и значит определить форму Земли. Так современная атомная физика и то оказалась, хоть и косвенным образом, причастной к исследованиям все той же «несложной», как думали поначалу, проблемы: какой же формой природа наградила нашу планету?

Собственно, на этом можно было бы и закончить рассказ о тех разнообразных науках, которые помогают измерять Землю, если бы на одном из заключительных заседаний X Международного астрономического съезда не прозвучало название новой науки, на которую теперь возложены тяготы по определению фигуры нашей планеты.

Спутникия

«Я бы назвал ее спутникия, — сказал один из зарубежных ученых, участник X Международного астрономического съезда, — эту новую науку, которая родилась 4 октября 1957 года».

И с ним можно согласиться. Исследование мира с искусственных небесных тел — это действительно целая новая наука.

Сейчас, когда космическое пространство прочерчено следами рукотворных небесных тел — вершины современной технической и научной мысли, особенно ярко видно, какой огромный путь развития знаний о Земле лежит позади.

Она началась с простой геометрии — наука, взявшаяся измерить земной шар. Круг с точкой посредине, два радиуса к двум городам. Какая часть всей окружности между ними? Вот и весь комплекс проблем. И решаются они просто — главным образом на бумаге. А тот кусок, который надо промерить на самой Земле, определяется тоже без особого труда — с помощью линейки. Так меряли круглую и сплюснутую Землю.

Неправильную бугристую Землю помогла измерить новая

наука — гравиметрия. И, наконец, сейчас на помощь ей уже включилась спутникия, исследующая мир с помощью искусственных астрономических тел.

Но, может быть, не надо было тратить «попусту» столько сил и стараний на изучение фигуры Земли прежними способами, если всесильная спутникия все равно скажет, что Земля не шар, не эллипсоид и не геоид даже, а еще какой-то новый «оид»? И как же быть со всеми этими многолетними спорами, экспедициями, открытиями?

Значит, все предыдущие столетия геодезия только и делала, что без конца «ошибалась», утверждая, будто Земля то правильное геометрическое тело, то неровная, вообще ни на что не похожая «глыба»? И, выходит, зря отдал жизнь за круглую Землю итальянец Асколи, напрасно на протяжении полувека спорил с Французской Академией непримиримый Ньютон, и крупнейшие академии мира впустую тратили огромные средства на землемерные экспедиции?

Конечно, нет. Ньютон не мог бы доказать, что Земля сплюснута, если бы Магеллан до этого не объехал вокруг круглой Земли, отвоеванной у плоского «блина» церковников. А бугристый геоид не был бы нам теперь известен, если бы мы не узнали раньше, что Земля сплюснута. И Землю нельзя было бы измерять из космоса, если бы, путешествуя по неровной Земле, геодезисты не сообразили, что ее надо не обмерять линейкой, а «взвешивать», используя для этого «гирю».

Каждое следующее открытие «новой» формы Земли не уничтожало старые представления, а лишь уточняло их. И каждое такое уточнение достигалось с помощью нового способа измерения, с помощью новой науки, вливавшейся в русло геодезии. Земля считалась круглой, пока ее измеряли чисто геометрически, на бумаге. Но это была лишь приблизительно определенная форма. Земля стала в наших глазах эллипсоидом, когда ученые стали мерить ее тщательнее, прикладывая во многих местах к земной поверхности «градусный аршин».

И это было вторым уточнением, но все еще дававшим приблизительное представление о нашей планете. И таким же неокончательным, но гораздо более близким к действительному, чем шар или эллипсоид, является представление о геоиде и квазигеоиде, которые измеряют не линейкой, а «взвешивая» отдельные участки Земли.

Больше того, если бы мы и захотели все-таки сделать глобус правильной моделью Земли и показывать школьникам «настоящую» Землю, то мы не смогли бы этого добиться при всем желании. Уменьшенные до его размеров, все эти неровности

нашей планеты стали бы попросту невидимыми — так они малы по сравнению с ее основной, «круглой» массой. И даже сплюснутость Земли у полюсов невозможно показать на такой модели — ведь полярный диаметр на глобусе диаметром в 60 сантиметров пришлось бы для этого укоротить на 2 миллиметра. Какой глаз обнаружит такую разницу?

Но тогда зачем же так тщательно исследуют ученые эти «микроскопические» неровности земной поверхности? Может, не стоило и заставлять спутник производить столь ничтожные по величине замеры, а как считалась Земля до путешествия Рише на экватор шаром, так пусть она им и остается?

Оказывается, от этих крошечных неровностей на лике нашей планеты нельзя так просто отмахнуться. Мы видели, что без точного знания всех микроскопических подробностей нельзя не только начертить правильную карту, но и измерить расстояние между городами на Земле или между планетами солнечной системы. Геодезия давно уже вышла из стадии чисто теоретической науки, выводы которой хотя и расширяют рамки нашего знания окружающего мира, но не приносят непосредственной практической пользы. Без точных выводов этой науки плохо пришлось бы и астрономам, и строителям, и геологам, и инженерам…

А кажущаяся незначительность этих крохотных неправильностей в форме нашей планеты означает лишь, что исследования, которыми занята современная геодезия, перешли в область точнейших величин — таких, которые и не мечтали когда-нибудь измерить первые землемеры, начавшие свои исследования с простым шестом в руках.

Луч радиолокатора и электронно-счетные машины, баллистическая ракета и атомные часы, искусственная луна и уловитель невидимого света — вот то оружие, которое помогает теперь геодезистам определять форму нашей планеты. И именно это и делает такой всемогущей волшебницу-спутникию.

Новая наука — спутникия — несомненно заставит в ином свете увидеть очень многие вопросы познания мира. Проблемы космоса наконец-то получили и космические средства их решения. Земной магнетизм и разнообразные лучи, испускаемые Солнцем; атмосфера нашей планеты и межзвездная материя; ионы и метеориты — все, что окружает нас в нашем стремительном полете в мировом пространстве, подвергается теперь тщательному экспериментальному изучению.

Приборы и подопытные животные совершают полеты на неслыханно огромном удалении от Земли, доставляя сведения исключительной теоретической ценности и первостепенного

практического значения для предстоящих в скором времени космических полетов человека.

А что такие путешествия не за горами, свидетельствует вторая советская космическая ракета, уже достигшая нашей соседки по небу — Луны.

Это поразительное известие потрясло мир. Человечество едва успело осознать, что люди стали творцами искусственных небесных тел, а советские ученые уже сделали новый шаг в космос. Посланная ими ракета пересекла 379 тысяч километров, отделяющих земной шар от ближайшей к нему планеты.

Новый посланец советской науки — это не просто еще одно рукотворное небесное тело, движущееся под влиянием всемирного тяготения. Это уже управляемый космический корабль — прообраз будущих лайнеров вселенной, тех, которые доставят первых земных путешественников на другие миры.

Луна сравнительно близка к Земле, и расстояние до нее вычислено довольно точно. А какой именно путь предстоит пройти будущим космическим кораблям, отправляющимся в еще более длительные путешествия? При расчетах расстояний до небесных тел, как мы знаем, не обойтись без точной формы нашей планеты.

Да и сам путь космических кораблей, стартующих с Земли, траекторию их полета не вычислить правильно, если не учитывать размеры, форму и даже распределение масс в теле нашей планеты. Ведь все неправильности земной фигуры будут влиять на маршрут будущих звездопланов. И это делает еще более важными те исследования детальных особенностей формы нашей планеты, которые проводятся с помощью наиболее близких к Земле небесных тел — ее искусственных спутников.

Их семья в день второй годовщины со дня запуска первого в истории Земли искусственного спутника пополнилась новым и очень интересным представителем. 4 октября 1959 года в космос стартовала третья советская космическая ракета — своего рода межпланетный бумеранг. Она доставила в район Луны первую автоматическую межпланетную станцию, которая взяла в зону своего наблюдения сразу и Луну и Землю.

Приблизившись к Луне почти «вплотную» — на расстояние 7 тысяч километров, она облетела ее и снова устремилась к Земле.

Автоматический наблюдатель впервые заглянул за Луну, пролетев над никем и никогда не виденной ее стороной. А сколько самых фантастических гипотез и строгих, но не менее увлекательных научных предположений по поводу загадочной «той стороны» земной спутницы высказано за столетия, которые отделяют первых астрономов-наблюдателей от

экспериментального исследования Луны!

Что «увидел» там наш новый космический разведчик? По команде с Земли он передал данные своих наблюдений и измерений и фотографии «той стороны» Луны наземным научным институтам. С его помощью ученые как бы заочно побывали на Луне, чтобы завтра самим вступить на ее каменистую почву, покрытую тысячелетней пылью. Третий советский Лунник прокладывает путь будущим земным наблюдателям, участникам межпланетных полетов.

Будут и новые спутники, новые космические лаборатории с широким кругом задач. Спутники временные, действующие «всего» несколько лет, и спутники вечные… Мы рассказали только об одной профессии спутника — о спутнике как землемере. Потребуются тома́, чтобы поведать о других, не менее интересных отраслях новой науки — спутникии.

В искусственном спутнике работает поистине все. Не только многочисленные уникальные, остроумно сконструированные точнейшие приборы, которыми он в изобилии оснащен, но и он сам — предмет, сделанный руками человека, заброшенный в космос и превратившийся в небесное тело.

И в качестве небесного тела, удобного для наблюдения с Земли и запускаемого туда, куда это требуется человеку, он поможет правильно ответить, наконец, на вопрос, возбуждавший горячие споры на протяжении тысячелетий: какова же истинная форма планеты, на которой мы живем?

Содержание

Вопреки показаниям глобуса … 3
I. С линейкой вдоль меридиана
Часы, которые сплющили Землю … 5
«Облатум сиве облонгум?» … 13
Охотники за сплюснутой Землей … 19
«Градусный аршин» … 26
«Закройщики» планеты … 34
II. Гиря в роли сантиметра
Путешествие полюса … 41
Часы, которые растянули Землю … 49
Земля имеет форму Земли … 57
По волнам невидимого океана … 65
Геоид минус эллипсоид … 72

Магнитный «ключ» … 78
III. Луна — рулетка
«Капризы» Луны … 85
Нарисованные километры … 92
Землю меряют Землей … 99
«Выкройка» земного шара … 107
Лунный «мост» … 114
IV. Небесный землемер
Луна, сделанная на заводе … 121
Почему тяжесть сильная … 131
Непослушная спираль … 141
Лунный патруль … 150
«Москва — спутник» … 156
Чем спутник лучше Луны … 161
Лот, закинутый в недра Земли … 171
Сколько Земель до Солнца? … 178
Почему тяжесть тяжелая … 188
Спутникия … 191

p. 05 к.